

**Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde**

(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Dr. A. Neff)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg  
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH  
Standort Marburg

---

**Korrelation des International Caries Detection and  
Assessment System (ICDAS-II)  
zur okklusalen Kariesdiagnose  
mit Laserfluoreszenzmessungen - eine In-vitro-Studie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt

von  
**Stefanie Rolfsen**

aus Damme

Marburg, 2009

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität  
Marburg am: 15.12.2009

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Rothmund  
Referent: PD Dr. Jablonski-Momeni  
Korreferent: Prof. Dr. Gente

*Meiner lieben Oma gewidmet*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>3</b>
2.1	Ätiologie der Zahnkaries	3
2.2	Fissurenkaries	5
2.2.1	Morphologie der Fissuren	5
2.2.2	Ätiologie der Fissurenkaries	6
2.3	Epidemiologie der Okklusalkaries	7
2.4	Verfahren zur Diagnose der okklusalen Karies	9
2.5	Visuelle und visuell-taktile Kariesdiagnose	10
2.6	Faseroptische Transillumination mit einer Kaltlichtsonde (FOTI)	15
2.7	Elektrische Widerstandsmessung	16
2.8	Kariesdiagnose mittels Laserfluoreszenz	18
2.8.1	Physikalische Grundlagen	18
2.8.2	Registrierung reemittierter Laserfluoreszenzstrahlen mittels DIAGNOdent	19
2.8.3	Registrierung reemittierter Laserfluoreszenzstrahlen mittels DIAGNOdent pen	21
2.9	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)	22
2.10	Intraorale Fluoreszenzkamerasysteme (VistaProof)	23
2.11	Röntgenologische Kariesdiagnose	25
2.12	Histologische Einteilung der Zahnkaries	26
2.12.1	Histologie der Schmelzkaries	26
2.12.2	Histologie der Dentinkaries	27
2.12.3	Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten als Goldstandard in der Kariesdiagnose	29
2.13	Transversale Mikroradiographie (TMR)	31
2.14	Konfokale Laser Scanning Mikroskopie	31
2.15	Mikrohärtemessung	32



<b>3</b>	<b>Zielsetzung und Fragestellung</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>35</b>
4.1	Versuchsdesign	35
4.2	Material	36
4.2.1	Auswahl der Zähne	36
4.3	Methode	37
4.3.1	Untersucher	37
4.3.2	Training der Untersucher	38
4.3.3	Visuelle Untersuchungen	39
4.3.4	Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen	41
4.3.5	Herstellung der Zahnhartschnitte	42
4.3.6	Zuordnung der Zahnhartschnitte zu den Messpunkten	44
4.3.7	Histologische Untersuchung	46
4.3.8	Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten	49
4.4	Dokumentation	50
4.5	Statistische Auswertung	51
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>55</b>
5.1	Verteilung der Diagnosen für die visuelle Untersuchung	55
5.2	Korrelationen zwischen den visuellen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an extrahierten Zähnen	56
5.3	Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen	59
5.4	Korrelationen der visuellen und histologischen Befunde	60
5.5	Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an extrahierten Zähnen	61
5.6	Sensitivität und Spezifität	62
5.6.1	Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries mittels histologischer Untersuchung	63

5.6.2	Sensitivität und Spezifität der Laserfluoreszenz- messungen am extrahierten Zahn	64
5.7	Korrelation der visuellen Befunde und der Laser- fluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten	65
5.8	Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten	67
5.9	Korrelation der Laserfluoreszenzmessungen am Zahn mit den Werten der Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten	69
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>70</b>
6.1	Diskussion der Problemstellung	70
6.2	Diskussion von Material und Methode	71
6.2.1	Auswahl und Lagerung der Zähne	71
6.2.2	Visuelle Untersuchung	72
6.2.3	Laserfluoreszenzmessungen	73
6.2.4	Schwellenwerte für die Laserfluoreszenz- messungen	74
6.2.5	Herstellung der Zahnhartschnitte	75
6.2.6.	Diskussion des Goldstandards Histologie	76
6.2.7	Studiendesign	77
6.3	Diskussion der Ergebnisse	78
6.3.1	Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenz- messungen	78
6.3.2	Korrelationen der visuellen und histologischen Befunde	80
6.3.3	Korrelationen zwischen den visuellen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen	81
6.3.4	Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen	82
6.3.5	Korrelation zwischen dem DIAGNOdent und DIAGNodent pen	83

6.3.6	Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries mittels histologischer Untersuchung	83
6.3.7	Sensitivität und Spezifität der Laserfluoreszenz- messungen zur Diagnose der Fissurenkaries	84
6.4	Schlussfolgerung	86
6.5	Klinische Relevanz	87
<b>7</b>	<b>Zusammenfassungen</b>	<b>88</b>
7.1	Zusammenfassung	88
7.2	Zusammenfassung englisch	92
7.3	Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie	93
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>107</b>
<b>10</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>113</b>
<b>11</b>	<b>Materialliste</b>	<b>115</b>
<b>12</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>117</b>
<b>13</b>	<b>Verzeichnis akademischer Lehrer</b>	<b>118</b>
<b>14</b>	<b>Danksagung</b>	<b>119</b>
<b>15</b>	<b>Ehrenwörtliche Erklärung</b>	<b>120</b>

## 1 Einleitung

Die Diagnose der Zahnkaries zählt zu den primären Aufgaben des Zahnarztes und stellt für den Behandler eine Herausforderung im zahnärztlichen Alltag dar. Ein Zahnarzt muss in der Lage sein, Veränderungen der Zahnhartsubstanzen frühzeitig zu diagnostizieren und gleichzeitig eine Entscheidung über eine geeignete Versorgung der Läsion treffen. Für die Erstuntersuchung der Mundhöhle und der Zähne wird in der Regel die visuelle Untersuchung herangezogen. Jedoch haben sich die diagnostischen Möglichkeiten für den Zahnarzt in den letzten Jahrzehnten stetig erweitert, sodass die Entscheidung über das Vorhandensein einer Karies nicht mehr ausschließlich auf der Basis der visuellen Untersuchung getroffen wird. Als gängige Methoden können an dieser Stelle die Faseroptische Transillumination mit einer Kaltlichtsonde, die elektrische Widerstandsmessung, das Laserfluoreszenzverfahren oder die Anwendung von Röntgenstrahlen genannt werden.

Für epidemiologische Studien scheint die visuelle Inspektion besser geeignet als beispielsweise das Laserfluoreszenzverfahren [Sheehy et al., 2001]. Dies gilt allerdings nur, wenn ein System für die klinische Kariesdiagnose verwendet wird, das einerseits kariöse Läsionen bereits im frühen Stadium erfasst und andererseits dem Praktiker die Entscheidungsgrundlage für geeignete Therapiemaßnahmen liefert. In Reihenuntersuchungen erfolgt die klinische Kariesdiagnose üblicherweise nach dem WHO-Standard, d.h., Läsionen werden auf Kavitationsniveau registriert. Nach Definition der WHO [1997] liegt eine behandlungsbedürftige Karies (D3-Niveau) dann vor, wenn freiliegendes Dentin sichtbar oder unterminierter Schmelz mit erweichten Schmelzrändern tastbar ist. Da diese Form der Karies allerdings stark rückläufig ist, werden differenziertere Indizes benötigt, mit denen sich auch Initialläsionen erfassen lassen. Nur so kann eine valide Basis für ein Karies-Management geschaffen werden, das bereits auf die Remineralisierung von Schmelzläsionen abzielt.

Ein Verfahren, das es ermöglicht, sowohl initiale als auch bereits manifeste Läsionen zu erfassen und zu definieren, ist das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II). Hierbei handelt es sich um ein visuelles Kariesdiagnoseverfahren, das für die Diagnose der okklusalen Karies sieben Stufen (Code 0-6) umfasst. Mit der Entwicklung des ICDAS-II wird das Ziel verfolgt, dieses Verfahren als eine standardisierte Methode in der Lehre, in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien einzusetzen [Pitts, 2004]. Daneben sollen die mit diesem System erhobenen Mundgesundheitsdaten besser in Übersichtsarbeiten oder Meta-Analysen Eingang finden können und somit die Anforderungen der evidenzbasierten Zahnmedizin erfüllen [Richards, 2005].

Das ICDAS-II zeigte gute Ergebnisse bezüglich der Sensitivität und Spezifität sowie der Reproduzierbarkeit [Jablonski-Momeni et al., 2008a; Jablonski-Momeni et al., 2008b]. Es liegen bislang aber keine Daten vor, wie das ICDAS-II mit Laserfluoreszenzmessungen korreliert. Daher wird in der vorliegenden Dissertation eine In-vitro-Untersuchung vorgestellt, die sich mit dieser Fragestellung auseinandersetzt.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Ätiologie der Zahnkaries

Karies ist eine multikausale Erkrankung, die die Zerstörung der Zahnhartsubstanzen zur Folge hat. Die heute allgemein akzeptierte Theorie zur Kariesentstehung wurde erstmals von *Miller* [1889] beschrieben. Er vermutete, dass kariogene Mikroorganismen in der Zahnplaque bei einem Angebot an niedermolekularen Kohlenhydraten organische Säuren produzieren, die die Zahnhartsubstanzen demineralisieren. Diese Hypothese wurde von *Keyes* [1962] verifiziert und um die Faktoren Wirt und kariogenes Substrat erweitert. *König* [1971] fügte den Faktor Zeit hinzu, in der die Säuren wirken. Demzufolge kann die Ätiologie der Karies vereinfacht als vier ineinander greifende Kreise dargestellt werden (Abb. 2.1). Um eine Läsion in der Zahnhartsubstanz zu erzeugen, müssen alle diese Faktoren gleichzeitig vorhanden sein.

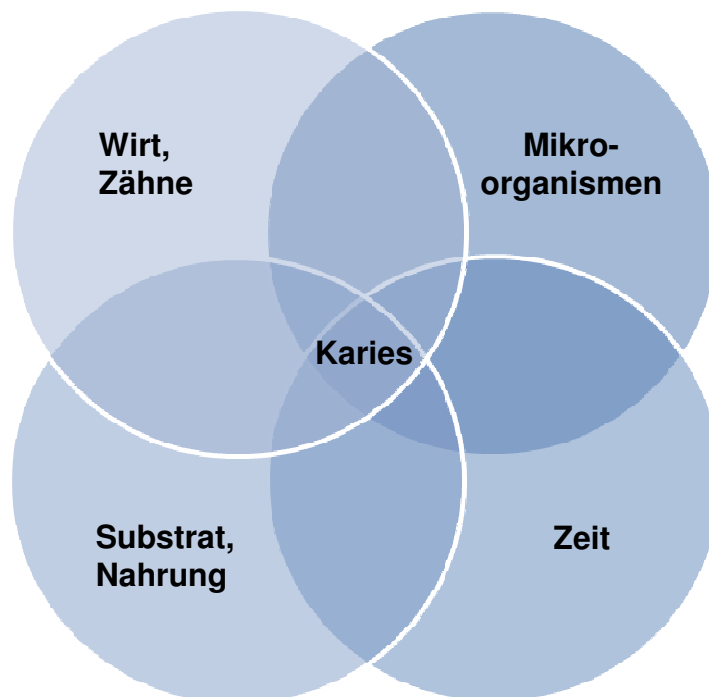


Abb. 2.1: Die Grundvoraussetzungen für die Entstehung kariöser Läsionen [nach König, 1971]

Neben diesen Grundvoraussetzungen wirken bei der Entstehung und Progression von Karies zusätzlich verschiedene sekundäre Faktoren wie die Eigenschaften des Speichels, die Immunabwehr sowie sozio-ökonomische Komponenten [König, 1971].

Karies ist ein dynamischer Prozess mit Phasen der De- und Remineralisation [Schroeder, 1997]. Während der Demineralisation kommt es, bedingt durch die Säureproduktion der oralen Mikroorganismen (vor allem Laktobazillen und Mutans Streptokokken), zu einem Abfall des pH-Wertes in der Plaque und damit zum Herauslösen von Kalzium- und Phosphationen aus dem Schmelz. Die dabei freiwerdenden Ionen diffundieren entsprechend ihrem Konzentrationsgradienten zur Schmelzoberfläche und in die Plaque. Wenn die Säuren innerhalb der Plaque durch den Speichel neutralisiert werden, erreicht der pH-Wert wieder den neutralen Bereich von 6,5-6,9. Bei diesem pH-Wert ist die Plaqueschicht mit Kalzium und Phosphat übersättigt, so dass bei der Remineralisation eine umgekehrte Ionenbewegung aus der Plaque in den oberflächlichen Schmelz stattfindet. *Levine* [1977] prägte für diesen Vorgang den Begriff „Ionenwippe“.

Überwiegt die Phase der Demineralisation, kommt es erst zu einem mikroskopisch sichtbaren Zahnhartsubstanzverlust, der in späteren Stadien auch klinisch feststellbar ist. Eine initiale Schmelzläsion erscheint luftgetrocknet als ein kreidiger, opaker Fleck mit intakter Oberfläche (white spot). Grund hierfür ist eine veränderte Lichtbrechung des kariös veränderten, porösen Schmelzes. Der Brechungsindex der interprismatischen Substanz, die im Schmelz den Bereich zwischen den Kristalliten auffüllt, besitzt weitgehend den gleichen Brechungsindex wie die dicht gepackten Schmelzprismen (Brechungsindex gesunder Schmelz: 1,62). Gesunder Schmelz erscheint deshalb optisch transparent. Bei der Demineralisation entstehen um die Kristallite Bereiche mit optisch geringerer Dichte, sogenannte Poren. Solange die Zahnoberfläche feucht ist (Brechungsindex Wasser: 1,33), erscheint der Zahn meist noch transparent. Wird er jedoch getrocknet und die Poren sind mit Luft gefüllt (Brechungsindex Luft: 1,0), erscheint die Oberfläche weißlich opak [Thylstrup und Fejerskov, 1994]. Bei Abwesenheit der kariogenen Faktoren kann eine initiale Läsion

remineralisieren und dabei Lebens- oder Genussmittelfarbstoffe einlagern. Eine solche Läsion erscheint dann als brauner Fleck (brown spot) mit harter, glänzender Oberfläche. Wirken die kariogenen Faktoren weiter, kommt es zum Zusammenbruch der Schmelzstruktur und damit zur Kavitation.

Die Kariesanfälligkeit ist nicht an allen Bereichen eines Zahnes gleich groß. Vielmehr gibt es Prädilektionsstellen, an denen die Karies bevorzugt entsteht. Diese Bereiche sind der natürlichen Selbstreinigung durch Zunge, Wange und Speichel überhaupt nicht oder nur unzureichend zugänglich. Zu ihnen zählen Fissuren und Grübchen, zervikale Drittel der Zahnkronen, freiliegende Wurzeloberflächen und die Approximalflächen.

## **2.2 Fissurenkaries**

### **2.2.1 Morphologie der Fissuren**

Hinsichtlich der Morphologie der Fissuren lassen sich nach *Nagano* [1960] vier Typen unterscheiden: Der V-Typ ist im Eingangsbereich sehr weit und wird zum Fissurengrund schmaler. Der U-Typ weist vom Fissureneingang bis zum Fissurengrund in etwa die gleiche Breite auf. Bei dem I-Typ handelt es sich um einen sehr schmalen Spalt, während sich bei dem IK-Typ der schmale Spalt im Eingangsbereich im unteren Bereich stark erweitert. Die Häufigkeitsverteilung dieser unterschiedlichen Fissurentypen wird wie folgt angegeben: V-Typ 34 %, IK-Typ 26 %, I-Typ 19 %, U-Typ 14 % und andere Formen 7 % [Nagano, 1960].

Im Zusammenhang mit der unterschiedlichen Fissurenmorphologie wurde diskutiert, ob in Abhängigkeit vom dem jeweiligen Fissurentyp eine Karies an bevorzugten Lokalisationen innerhalb der Fissur beginnt. *Nagano* [1960] konnte feststellen, dass eine Karies in den V-förmigen Fissuren am Fissurengrund, in den U-förmigen Fissuren im mittleren Bereich und bei den I- und IK-förmigen Fissuren im Eingangsbereich beginnt. Diese Beobachtungen wurden von *König* [1963] bestätigt. *Mortimer* [1964] wiederum zeigte, dass schmale und breite Fissuren gleichermaßen von

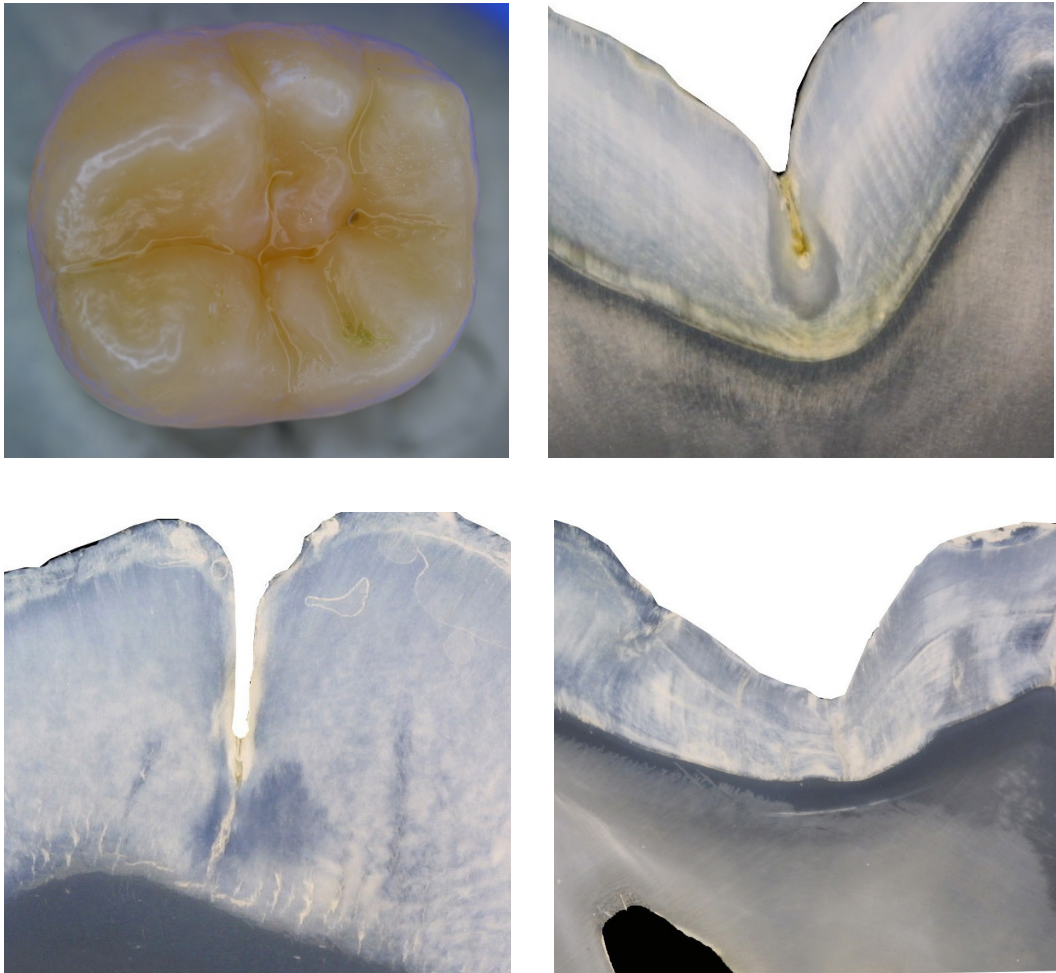


einer Karies betroffen sein können. *Juhl* [1983] kam in einer morphologischen Untersuchung an 57 extrahierten Prämolaren zu folgendem Ergebnis: 61 % der kariösen Läsionen lagen im unteren Bereich der Fissur, in 36 % der Fissuren war die Karies sowohl im Eingang als auch im unteren Bereich lokalisiert und nur 13 % der Läsionen lagen über dem Eingang der Fissuren.

### **2.2.2 Ätiologie der Fissurenkaries**

Für die Entstehung der Fissurenkaries werden verschiedene Gründe angeführt. Zum einen besteht in den ersten Jahren nach dem Zahndurchbruch generell eine erhöhte Kariesanfälligkeit des Schmelzes, da die posteruptive Schmelzreifung noch nicht abgeschlossen ist [Crabb, 1976]. Zum anderen weisen durchbrechende Zähne eine vermehrte Plaqueakkumulation in den Fissuren und Grübchen auf [Carvalho et al., 1989]. Diese wird durch den fehlenden Antagonistenkontakt und die erschwerte Reinigung der Okklusalfäche während des Zahndurchbruchs begünstigt. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die im Fissurenfundus vorhandene geringe Schmelzdicke von lediglich 0,2 mm nur eine kurzzeitige Barriere vor der Kariesinitiation bietet [Rohr et al., 1991]. Dabei sind zur Kariesinitiation in den Fissuren und Grübchen 3.000 koloniebildende Einheiten (KB) von Mutans Streptokokken je ml Speichel erforderlich, während die Auslösung einer Glattflächenkaries die Keimzahlhöhe von 43.000 KB je ml Speichel voraussetzt [Anderson et al., 1993].

Ein weiterer wesentlicher Punkt für die hohe Kariesanfälligkeit ist die ungünstige Morphologie der Fissuren (Abb. 2.2). Diese macht die vollständige Plaqueentfernung kaum möglich [Lussi et al., 1995]. Es bilden sich Mikrobiotope in den Fissurensystemen aus, welche unabhängig von der generellen Kariesgefährdung des Patienten eine Progredienz der Karies bewirken können [Laurisch, 2007]. Überdies ist die kariesprotektive Wirkung von Fluoriden in den Fissuren begrenzt [Pearce et al., 1999].



*Abb. 2.2: Okklusale Morphologie eines Molaren in der Aufsicht (oben links) und im histologischen Schnitt*

### **2.3 Epidemiologie der Okklusalkaries**

Zu Beginn der achtziger Jahre konnte erstmals in einigen Regionen Europas ein drastischer Rückgang der Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen verzeichnet werden [Glass, 1982; Marthaler, 2004]. Dieser Trend wurde in den letzten Jahren auch in der Bundesrepublik Deutschland sowohl in nationalen [Pieper, 1995; Pieper, 1996; Pieper, 1998; Pieper, 2001; Pieper, 2005; Micheelis und Schiffner, 2006] als auch in regionalen Studien [Momeni et al., 2002; Momeni et al., 2005; Jablonski-Momeni et al., 2007] beobachtet. Die aktuelle Studie der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege (DAJ) [Pieper, 2005] konnte bei den 6- bis 7-Jährigen

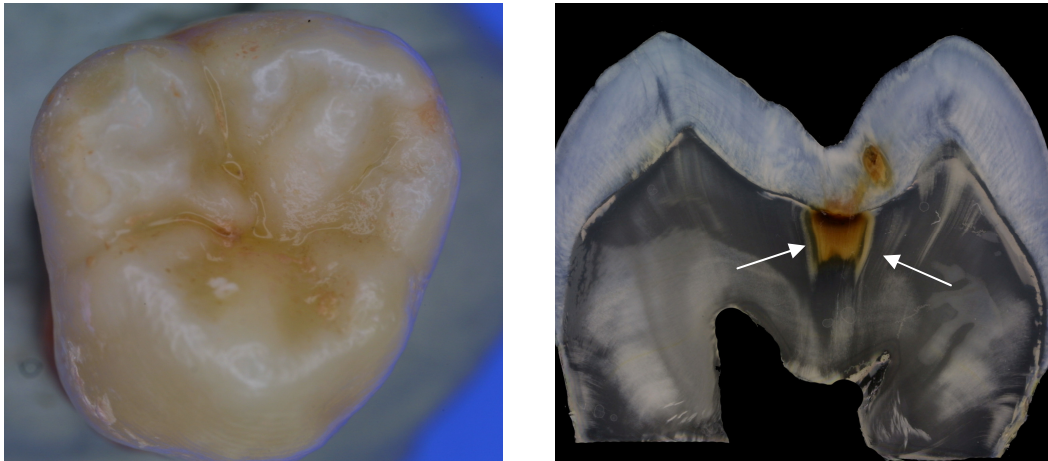
zwischen 1994/95 und 2004 einen Kariesrückgang von 25,3 % registrieren. Bei den 12-Jährigen betrug der Kariesrückgang in diesem Zeitraum 59,8 %. Parallel zu dieser als „caries decline“ beschriebenen Entwicklung zeigte sich eine deutliche Polarisierung des Kariesbefalls. In allen Altersgruppen sind die Karieswerte linksschief verteilt, d.h., einer großen Gruppe von Kindern ohne Karieserfahrung steht eine kleine Gruppe von „Kariesproduzenten“ gegenüber [Pieper, 2005]. Aus der vierten deutschen Mundgesundheitsstudie [Micheelis und Schiffner, 2006] ging hervor, dass 10,2 % der untersuchten 12-Jährigen 60,1 % der Karieserfahrung ihrer Altersgruppe auf sich vereinigen. Bei den 15-Jährigen konzentrierten sich 79,2 % der Karieserfahrung auf 26,8 % der Untersuchten. Diese Schieflage wurde auch in der DAJ-Studie [Pieper, 2005] sowohl für das Milchgebiss der 6- bis 7-Jährigen als auch für die bleibende Dentition bei 12- und 15-Jährigen abgebildet.

Von der Kariesreduktion sind nicht alle Zahnflächen gleichermaßen betroffen. Im bleibenden Gebiss konzentriert sich der Kariesbefall bis etwa zum 12. Lebensjahr vorrangig auf die Fissuren und Grübchen der ersten Molaren [Hannigan et al., 2000]. Demnach beträgt die mittlere Zeit vom Zahndurchbruch bis zum Auftreten einer manifesten Karies bzw. Restauration an diesen Zähnen etwa vier Jahre. Ein nur geringfügig längeres Zeitintervall wurde für die Okklusalflächen der zweiten Molaren beobachtet [Hannigan et al., 2000]. Ab dem 13. Lebensjahr kommt es dann zu einem Anstieg manifester approximaler Läsionen [Mejare et al., 1998].

Klinisch hat sich das Erscheinungsbild der Okklusalkaries geändert. Es wurde festgestellt, dass unter einer makroskopisch intakten Schmelzoberfläche Dentinkaries vorhanden sein kann (Abb. 2.3). Dieses Phänomen wird in der Literatur als „hidden caries“ bezeichnet. Nach *Weerheijm et al.* [1997] versteht man darunter eine Dentinkaries, die bei der alleinigen klinischen Untersuchung nicht diagnostizierbar ist, während im Röntgenbild eine deutlich umschriebene Radioluzenz unterhalb einer intakten okklusalen Schmelzschicht sichtbar ist. Als Ursache für die „hidden caries“ wird die verbreitete Fluoridanwendung diskutiert [Lussi, 1993; Weerheijm et al., 1997]. Fluorapatit fördert die Remineralisationsvorgänge und kann so

möglicherweise eine voranschreitende Dentinläsion maskieren [Lussi, 1993].

Untersuchungen konnten zeigen, dass die Sensitivität, d.h. die Fähigkeit, erkranktes Dentin bei mikroskopisch intakter Zahnoberfläche als kariös zu erkennen, für die klinische Inspektion bei maximal 20 % liegt [Lussi, 1998].



*Abb. 2.3: Scheinbar intakter Molar mit deutlicher Kariesextension im Zahn-hartschnitt*

## **2.4 Verfahren zur Diagnose der okklusalen Karies**

Die Diagnose der okklusalen Karies bereitet dem Untersucher, besonders hinsichtlich der Einschätzung der Läsionsprogression, Probleme [Pine und ten Bosch, 1996; Weerheijm et al., 1997]. Eine frühzeitige und adäquate Kariesdiagnose ist aber gerade bei der Fissurenkaries von großer Bedeutung, da sich der Kariesbefall zunehmend auf die Okklusalfächen konzentriert (siehe Kapitel 2.3).

Für die Kariesdiagnose stehen dem Zahnarzt eine Vielzahl an Verfahren zur Verfügung. Die nachfolgenden Kapitel geben eine Übersicht der derzeit bekanntesten Verfahren.

## 2.5 Visuelle und visuell-taktile Kariesdiagnose

Die visuelle Untersuchung steht bei der Diagnostik kariöser Läsionen noch immer im Vordergrund und stellt die Basis für eine systematische Kariesdiagnose dar. Sie erfolgt traditionell mit Hilfe einer zahnärztlichen Sonde, einem Spiegel und einer geeigneten Lichtquelle. Das „Kleben“ einer mit mäßigem Druck in die Fissur eingeführten Sonde galt lange Zeit als sicheres Zeichen für eine kariöse Läsion [Lussi, 1993]. Untersuchungen von *Penning et al.* [1992] konnten jedoch zeigen, dass lediglich 24 % der untersuchten Zähne auch durch dieses Kriterium als kariös diagnostiziert werden konnten. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass der zusätzliche Gebrauch einer Sonde nicht mehr angezeigt ist. Überdies wurde festgestellt, dass das Sondieren iatrogene Schmelzdefekte verursachen und die Zerstörung remineralisierbarer initial kariöser Läsionen zur Folge haben kann. Untersuchungen von *Ekstrand et al.* [1987] an frisch durchgebrochenen dritten Molaren konnten zeigen, dass sondierte Zähne 53 % mehr Hartgewebszerstörungen aufwiesen als nicht sondierte Zähne.

Im Zusammenhang mit der taktilen Kariesdiagnose wurde außerdem die Übertragung kariopathogener Mikroorganismen diskutiert. Während *Loesche et al.* [1979] die Transmission kariogener Keime von infizierten in sterile Fissuren mit der zahnärztlichen Sonde nachwiesen, zeigten *Hujoel et al.* [1995], dass eine Keimübertragung durch Sondierung für die Kariesinitiation eine nur sehr geringe Bedeutung hat. Nach *Lussi* [1998] führt der zusätzliche Gebrauch einer zahnärztlichen Sonde zu keinerlei diagnostischem Gewinn bzw. zu keiner Verbesserung im Vergleich zur alleinigen visuellen Befundung. Die WHO [1997] empfiehlt als Instrument für die taktile Kariesdiagnostik eine abgerundete Parodontalsonde. Eine stumpfe Sonde kann zum drucklosen Abtasten der Zahnoberfläche verwendet werden oder um Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit bzw. -rauigkeit zu erhalten.

Wesentliche Voraussetzung für die visuelle Untersuchung sind saubere, plaquefreie und trockene Zahnflächen. Besondere Bedeutung gilt der Erfassung von kreidig-weißen Opazitäten (white spot) und Braun-

verfärbungen (brown spot) der Zahnoberfläche, da erstere in der Regel mit aktiven und letztere mit inaktiven kariösen Läsionen assoziiert sind [Heinrich-Weltzien et al., 2008].

Für die visuelle Kariesdiagnose stehen diverse Einteilungen zur Verfügung, die anhand von unterschiedlichen Diagnosekriterien zwischen verschiedenen Kariesstadien differenzieren können. Eine Auswahl der visuellen Kariesdiagnosesysteme ist in Tabelle 2.1 aufgeführt.

*Tab. 2.1: Übersicht der verschiedenen Diagnosekriterien für die okklusale Karies*

<b>Autor</b>	<b>Einteilung und Beschreibung der Kriterien</b>
<i>Parfitt</i> [1954]	Grad 1 = leichte Verfärbung mit Verlust des Schmelzglanzes Grad 2 = raue Schmelzoberfläche mit Grübchenbildung, mit einer Sonde tastbar Grad 3 = weiterer Schmelzverlust mit Kavitätenbildung bis zum Dentin Grad 4 = Dentinverlust und Kavitätenbildung
<i>Backer-Dirks et al.</i> [1961]	I = schmale, dunkle Linie im Fissurengrund II = zusätzliche weiße Zone am Rande der Fissuren III = kleinste Unterbrechung in der Schmelzstruktur mit oder ohne Unterminierung IV = Kavität mit über 3 mm Ausdehnung
<i>McHugh et al.</i> [1964]	Score 1 = klebende Sonde Score 2 = Fissur oder Kavität mit weichem Boden und Verfärbung oder Opazität des Schmelzes Score 3 = Kavität mit offensichtlicher Dentinbeteiligung Score 4 = Kavität mit offensichtlicher Pulpabeteiligung
<i>Marthaler</i> [1966]	Einsatz der Sonde ist nur im Zweifelsfall indiziert. Grad 1 = leicht bräunliche schmale Linie oder white spot mit harter Oberfläche, nicht größer als 2 mm Grad 2 = deutliche bräunliche oder schwarze Linie oder white spot, größer als 2 mm Grad 3 = Diskontinuität der Schmelzoberfläche bzw. Kavitätenbildung Grad 4 = Kavitätenbildung mit einer Ausdehnung größer als 2 mm
<i>Møller</i> [1966]	Grad 1 = dunkle, auf eine schmale Linie begrenzte Bereiche Grad 2 = zusätzlich zu Grad 1 weißliche Zone am Rand der Fissuren Grad 3 = kleinste wahrnehmbare Unterbrechung im Schmelz
	<i>Fortsetzung auf der nächsten Seite</i>

	<i>Fortsetzung Tabelle 2.1</i>
<i>Radike</i> [1968]	1 = klebende Sonde bei moderatem Druck und folgenden Begleitumständen: Weicher Untergrund und/oder Opazität am Rande der Fissuren und/oder erweichter Schmelz an den Fissuren, der mit der Sonde entfernbar ist 2 = Verlust der Schmelztransluzenz am Fissuren- und Grübchenrand. Ist der Schmelzverlauf unterbrochen und der Untergrund weich oder eine Schattenbildung sichtbar, so kann es sich um eine versteckte Dentinläsion handeln.
<i>Møller und Poulsen</i> [1973]	1 = Verfärbung ohne klebende Sonde 2 = Klebende Sonde ohne Dentinbeteiligung 3 = Kavitätenbildung mit Dentinbeteiligung 4 = mögliche Pulpabeteiligung
<i>Howat</i> [1981]	Verwendung eines Löffelexcavators zur Bestimmung der Größe der Läsion an gereinigten und getrockneten Zähnen: V1 = sichtbar intakter Schmelz mit einer dunklen Linie am Fissurengrund und/oder weißlicher Veränderung in der Fissurenwand V2 = Einbruch der Fissurenwand mit Kavitation oder Schattenbildung oder Opazität, kleiner als 1,5 mm V3 = Zusammenbruch der Fissurenwände, entweder mit sichtbarer offener Kavität oder Schatten oder Opazität als Beweis für die Untermünierung, alle größer als 1,5 mm, gemessen in der Fissur
<i>Fyffe et al.</i> [2000a]	Dundee Selectable Threshold Method for Caries Diagnosis (DSTM): G = Gesunde Zahnhartsubstanz W = White spot Läsion B = Brown spot Läsion E = Schmelzkavität ohne Dentinbeteiligung D = Dentinläsion ohne Kavitätenbildung C = Dentinläsion mit Kavitätenbildung P = Pulpabeteiligung A = Arretierte Dentinkaries (arrested dentinal decay)

*Ekstrand et al.* [1998] sowie *Nyvad et al.* [1998] stellten visuelle Kariesdiagnosesysteme vor, die in den vergangenen Jahren ihren Einsatz im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen gefunden haben. Bei dem von *Ekstrand et al.* [1998] entwickelten 5-stufigen System gelten white spot Läsionen, die auf der feuchten Zahnoberfläche kaum, auf der luftgetrockneten Zahnoberfläche hingegen deutlich sichtbar sind, als histologische Zeichen für eine Karies, die überwiegend auf die erste Schmelzhälfte beschränkt ist (Grad 1). Dagegen sind weißliche oder bräunliche Verfärbungen, die sich auf der feuchten Zahnoberfläche

diagnostizieren lassen, auf die innere Schmelzhälfte oder bis zum äußeren Drittel des Dentins ausgedehnt (Grad 2). Durch Karies bedingte Schmelzeinbrüche sowie Läsionen, die mit gräulicher, bräunlicher oder bläulicher Schattenbildung im Dentin verknüpft sind, haben eine Ausdehnung bis ins mittlere Dentindrittel (Grad 3), während offene Dentinläsionen histologisch ein Ausmaß bis ins innere Dentindrittel aufweisen (Grad 4).

*Nyvad et al.* [1998] berücksichtigen in einem 6-stufigen Klassifikationssystem die Aktivität einer Läsion. Die Grade 1-3 umfassen dabei aktive Läsionen, während die Grade 4-6 inaktive Läsionen zusammenfassen. Wichtigste Kriterien zur Unterscheidung zwischen aktiver und inaktiver Karies sind die Farbe und die Oberflächenbeschaffenheit einer Läsion. Während aktive Läsionen weißlich-gelbe opake, raue Oberflächen aufweisen, zeichnen sich inaktive Läsionen durch eine glänzende, harte Oberfläche aus.

Im Jahr 2002 fand ein internationaler Workshop zum Thema klinische Kariesstudien (International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials, ICW-CCT) statt. Dabei beschäftigten sich 95 Teilnehmer aus 23 Ländern mit folgenden Fragestellungen: 1. Auf welcher Stufe soll der kariöse Prozess erfasst werden? 2. Wie sollen die einzelnen Stufen definiert werden? 3. Was ist der beste klinische Ansatz, um die einzelnen Stufen des kariösen Prozesses an verschiedenen Zahnflächen zu erfassen? 4. Welcher Trainingsablauf für Untersucher kann den höchsten Grad an Untersucherübereinstimmung bieten? [ICDAS Coordinating Committee, 2005].

Um diese Fragen zu klären, kam im Anschluss an diesen Workshop eine Arbeitsgruppe zustande, die innerhalb von 4 „Development Meetings“ Kriterien für die klinische Kariesdiagnose entwickelte [Pitts, 2004]. Dabei sollte, basierend auf den bisher validierten visuellen Kariesdiagnosemethoden [Ekstrand et al., 1997; Fyffe et al., 2000a; Ekstrand et al., 2001; Chesters et al., 2002; Ricketts et al., 2002; Ekstrand et al., 2005], eine standardisierte Methode entwickelt werden, die eine adäquate Diagnose, Prognose und das klinische Management der Zahnkaries in der Lehre, in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien ermöglicht [Pitts,



2004]. Diese Überlegungen, aber auch Empfehlungen des „National Institutes of Health“ aus dem Jahr 2001 [National Institutes of Health, 2001] sowie des ICW-CCT Meetings [Pitts und Stamm, 2004] wurden zusammengetragen und in der Folge entstand das „International Caries Detection and Assessment System“ (ICDAS-I). Mit diesem System sollte neben der Detektion der Zahnkaries eine Einschätzung des Schweregrades und im Idealfall auch eine Einschätzung der Aktivität der Läsion möglich sein.

Während der Entwicklungsphase des ICDAS wurde im Jahr 2002 an 57 extrahierten Zähnen die Validität des Systems überprüft [ICDAS Coordinating Committee, 2005]. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen ging hervor, dass Code 3 (Schattenbildung im Dentin ausgehend von Fissuren/Grübchen) in der histologischen Ausdehnung tiefer war als Code 4 (Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin). Daher wurden die Codes 3 und 4 getauscht und das System in dieser modifizierten Form im Jahr 2005 als ICDAS-II vorgestellt.

Das ICDAS-II umfasst für die Diagnose der okklusalen Karies sieben Codes (0-6) und baut darauf auf, dass kleinste, subtile Veränderungen an der Zahnoberfläche auf histologische Veränderungen hinweisen können [ICDAS Coordinating Committee, 2005]. Primäre Voraussetzung für die Anwendung des Systems ist es, die Untersuchung an sauberen und trockenen Zähnen durchzuführen. Um verbleibende Zahnbeläge zu entfernen und den Zahn auf Füllungen oder kleine Kavitäten zu überprüfen, kann als zusätzliches Hilfsmittel eine CPI- oder Parodontalsonde verwendet werden. Die Codes des ICDAS-II sind in Kapitel 4.3.3 ausführlich beschrieben.

Untersuchungen von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a; 2008b] zeigten, dass das ICDAS-II bei der okklusalen Kariesdiagnostik gute Kappa-Werte für die Reproduzierbarkeit lieferte ( $\kappa = 0,61-0,83$ ). Die ermittelte Sensitivität betrug für das D1-Niveau 90,7 % bzw. für das D3-Niveau 86,6 %. Die Spezifität lag für das D1-Niveau bei 54,0 % und für das D3-Niveau bei 69,6 %. *Rodrigues*

*et al.* [2008] erzielten in einer In-vitro-Studie an 119 bleibenden Molaren für das ICDAS-II eine Sensitivität von 0,73 und eine Spezifität von 0,65.

In Anlehnung an das ICDAS haben *Kühnisch et al.* [2007a] das universelle visuelle Scoring System (UniViss) vorgestellt. Dieses berücksichtigt die gesamte Breite der zu beobachtenden Vielfalt an kariösen Läsionen und verknüpft die einzelnen Befunde mit einer Behandlungsstrategie [Kühnisch et al., 2007b]. Auch bei diesem Verfahren muss die visuelle Untersuchung an gereinigten und getrockneten Zahnflächen vorgenommen werden. Die Befundung gliedert sich in drei Schritte: 1. Läsionserkennung und Einschätzung des Schweregrades, 2. Einschätzung der Verfärbung und 3. Einschätzung der Aktivität. Die Validität und Reproduzierbarkeit dieses Systems ist derzeit nicht überprüft.

## **2.6 Faseroptische Transillumination mit einer Kaltlichtsonde (FOTI)**

Die Kariesdiagnose mit Kaltlicht basiert auf der unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeit kariöser Läsionen und gesunder Zahnhartsubstanz, wobei kariöser Schmelz, insbesondere aber kariöses Dentin, im Durchlicht als dunkler Schatten erscheint [Pieper, 1986].

*Menzel und des Bordes* [1974] überprüften die Anwendbarkeit des Kaltlichtes bei der Frühdiagnose der Karies im Vergleich zur klinischen und röntgenologischen Untersuchung. Dabei wurde für die Durchleuchtung der Approximalräume eine Kaltlichtsonde mit einem Querschnitt  $> 5$  mm verwendet. Die Untersuchung ergab, dass mit Hilfe der Faseroptik 44 % der kariösen Zähnen auch als kariös erkannt wurden. Aus diesem Ergebnis folgerten die Autoren, dass die Faseroptik als alleiniges Hilfsmittel zur Kariesdiagnostik im Frühstadium wenig geeignet ist und sie die klinische und röntgenologische Untersuchung nicht ersetzen kann.

Da mit dieser verwendeten Kaltlichtdiagnosesonde an der Zahnoberfläche zu viel Streulicht auftrat, setzten *Peltola und Wolf* [1981] zur Vermeidung dieses Effektes bei der Diagnose der Approximalkaries eine Sonde mit 4 mm Durchmesser ein, die nicht in den Approximalraum eingeführt, sondern

auf die Bukkal- und Lingualfläche des Zahnes aufgesetzt wurde. Auf diese Weise konnten mit der Faseroptik 2,5-mal so viele Defekte an Approximalflächen nachgewiesen werden wie mit der klinischen Inspektion allein. Mit Hilfe der Kaltlichtsonde wurden durchschnittlich 78 % der auf dem Röntgenbild sichtbaren Dentinkaries entdeckt. Für die Schmelzkaries lag dieser Wert bei 37 %.

*Mitropoulos* [1985] führte eine weitere Optimierung des faseroptischen Untersuchungsverfahrens durch, indem sie eine Kaltlichtdiagnosesonde mit nur 0,5 mm Durchmesser einsetzte. Die Sensitivität dieses Verfahrens lag bei 0,73 und die Spezifität bei 0,99.

*Pieper* [1986] entwickelte eine Kaltlichtdiagnosesonde mit speziellem Anschliff (Modell Göttingen), mit deren Hilfe mehr als doppelt so viele kariöse Defekte entdeckt werden konnten wie mit dem Spiegel und der Sonde. Im Vergleich zur Bissflügelaufnahme konnten mittels der Faseroptik mehr kariöse Läsionen im Dentin nachgewiesen werden.

Eine Weiterentwicklung des FOTI stellt das DIFOTI-Verfahren (= digital fiber optic transillumination) dar, das die Durchleuchtung mit einer intraoralen Kamera kombiniert. Erste in-vitro-Studien zeigten für die okklusale Kariesdiagnose eine Sensitivität von 0,67 und eine Spezifität von 0,87 [Schneiderman et al., 1997].

## 2.7 Elektrische Widerstandsmessung

Die elektrische Widerstandsmessung beruht auf den physikalischen Eigenschaften des Schmelzes. Schmelz ist ein guter elektrischer Isolator. Kommt es durch eine Karies zur Demineralisation, entstehen Porositäten, die durch Wasseraufnahme die Isolation verringern. D.h., je mehr Zahnhartsubstanz zerstört ist und durch ein besser leitendes Medium ersetzt wird, desto kleiner wird der elektrische Widerstand [Lussi et al., 1995].

*Ricketts et al.* [1995a] erreichten mittels dieser Methode bei der Erkennung initialer Fissurenkaries eine Sensitivität von 0,81 und eine Spezifität von 0,78. Ähnliche Ergebnisse erzielte *Lussi* [1998]. Die ermittelte Sensitivität

lag zwischen 0,93 und 0,96, die Spezifität zwischen 0,71 und 0,77. *Kühnisch et al.* [2006] ermittelten dagegen bei dem Vergleich von zwei Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung an 117 Weisheitszähnen mit nicht kavitierten Okklusalfächen niedrige Sensitivitäten (0,36-0,51) und hohe Spezifitäten (0,84-0,97). Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse könnten minimale physikalische Veränderungen im Zahnschmelz (z.B. Porosität, Mineralgehalt, Wassergehalt, Temperatur) sein, die zu gravierenden Messwertschwankungen führen können [Longbottom und Huysmans, 2004]. *Kühnisch et al.* [2006] empfehlen daher die elektrische Widerstandsmessung bei der Diagnose versteckter okklusaler Läsionen allenfalls als ergänzendes Verfahren.

Des Weiteren konnten *Schulte und Pieper* [1997] feststellen, dass die posteruptive Schmelzreifungsphase eine Zunahme des elektrischen Widerstandes im Fissurenbereich bewirkt. Daher sollte der Einfluss der Schmelzreifung bei der Interpretation der Messwerte berücksichtigt werden. Als kommerziell erhältliches Gerät ist das Electronic Caries Monitor III (ECM, Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande) verfügbar. Eine neuere Entwicklung ist ein Meßsensor namens CarieScan<sup>TM</sup> (Hersteller: IDMoS Dental Systems; Vertrieb: CarieScan Ltd., Dundee, UK), der derzeit nur in Großbritannien und Irland verfügbar ist. Bei diesem Gerät wird das sogenannte „AC Impedance Spectroscopy“-Verfahren eingesetzt [Longbottom et al., 1996]. Hierbei wird ein Wechselstrom durch den Zahn geleitet. Mittels eines Frequenzwechsels können verschiedene Tiefen unter dem Zahnschmelz untersucht werden und es lässt sich ein Spektrum aus Impedanzpunkten erstellen. Eine im Gerät vorhandene Software analysiert das Spektrum und zeigt über eine Farbkodierung (von Grün nach Rot) und einen Zahlenwert (0 bis 99) die Tiefe der kariösen Läsion an.

## 2.8 Kariesdiagnose mittels Laserfluoreszenz

### 2.8.1 Physikalische Grundlagen

Bei der Absorption von Licht einer bestimmten Wellenlänge ist bei verschiedenen Molekülen eine gleichzeitige Emission von Licht mit größerer Wellenlänge zu beobachten. Dieses Phänomen wird als Fluoreszenz bezeichnet.

Bestimmte Elektronen von fluoreszierenden Molekülen absorbieren Photonen und gelangen dadurch auf ein höheres Energieniveau. Dieser Zustand ist allerdings instabil, sodass die Elektronen auf ihr ursprüngliches Energieniveau zurückfallen. Dabei setzen sie die aufgenommene Energie wieder frei und es kommt zur Emission des Fluoreszenzlichts. Da diese Energie aber nicht nur ausschließlich als Licht freigesetzt wird, ist das emittierte Fluoreszenzlicht energieärmer und besitzt eine größere Wellenlänge als das Anregungslicht.

Dass auch Zahnhartsubstanzen unter bestimmten Bedingungen diese fluoreszierende Eigenschaft besitzen, wurde erstmals von *Stübel* [1911] beschrieben. Das Fluoreszenzverhalten ändert sich bei kariöser Veränderung der Zahnhartsubstanz. Das Ausmaß der Fluoreszenz korreliert dabei mit dem Demineralisationsgrad von Schmelz und Dentin.

Bisher wurde angenommen, dass die Fluoreszenz kariös veränderter Zahnhartsubstanzen auf bakterielle Stoffwechselprodukte in einer Läsion, sogenannte Porphyrinderivate, zurückgeführt werden kann [König et al., 1998]. Untersuchungen von *Buchalla et al.* [2008] konnten diese Annahme bestätigen. Ursache der Fluoreszenz in kariösen Läsionen sind demnach Protoporphyrin IX, Coproporphyrin I und II und noch weitere, bislang nicht identifizierte Porphyrine.

### 2.8.2 Registrierung reemittierter Laserfluoreszenzstrahlen mittels DIAGNOdent

Das Laserfluoreszenzgerät DIAGNOdent 2095 (KaVo, Biberach, Abb. 2.5) wurde 1998 auf dem Markt eingeführt. Es besteht aus einer Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 655 nm und einer Leistung von 1 mW, wodurch sich eine Eindringtiefe in den Zahn von 2 mm ergibt. Eine Fotodiode dient als Detektor. Mit Hilfe eines Empfangsfiltersystems wird erreicht, dass nur Licht mit einer Wellenlänge von mehr als 680 nm empfangen wird. Das Filtersystem blockiert das Anregungslicht sowie kurzwelligere Streustrahlung anderer Strahlungsquellen, wie z.B. Tageslicht oder künstliche Beleuchtung. Zur Eliminierung langwelliger Störstrahlung wird das Anregungslicht moduliert und nur der entsprechend modulierte Anteil verstärkt und festgehalten [Hibst, 1999].

Für das Gerät existieren zwei Aufsätze, eine kegelförmige Sonde zum Abtasten von Fissuren (Sonde A) und eine plane Sonde für Glattflächen (Sonde B). Die jeweiligen Detektionsspitzen bestehen aus einem zentralen Teil für die Zuführung des Lichtes auf die Zahnfläche und einem äußeren Teil mit konzentrisch angeordneten Fasern für die Detektion des vom Zahn fluoreszierten Lichtes.



Abb. 2.5: Laserfluoreszenzgerät DIAGNOdent 2095 (KaVo, Biberach)

Vor der Anwendung des Lasergerätes ist es erforderlich, die Zähne des Patienten zu reinigen und zu trocknen [Lussi et al., 2003]. Somit ist zunächst eine optimale visuelle Diagnostik möglich und zugleich wird verhindert, dass Speisereste, Verfärbungen, Zahnstein oder Plaque durch ihre Eigenfluoreszenz das Ergebnis verfälschen. Die Eigenfluoreszenz des Schmelzes lässt sich durch vorheriges Skalieren des Gerätes auf einer intakten Schmelzoberfläche herausfiltern. Dazu bringt man die Detektionssonde auf eine gesunde Zahnoberfläche. Der ermittelte Wert wird dann bei der Messung an zweifelhaften Stellen von der Fluoreszenz abgezogen.

Das Gerät zeigt zwei Werte an, den Peak-Wert und den momentanen Wert. Der momentane Wert ist der aktuelle Wert, der Peak-Wert der höchste Wert des Messpunktes (z.B. Fissur). Die gemessenen Score-Werte sind in Kapitel 4.3.4 beschrieben. Bei der Untersuchung sollte eine ständige Rotation der Sondenspitze um die Längsachse durchgeführt werden. Optional kann ein Signalton eingeschaltet werden, dessen Frequenz mit zunehmender Defekttiefe zunimmt.

Seit der Markteinführung des DIAGNOdent-Gerätes wurden sehr viele In-vitro und In-vivo-Studien durchgeführt, die auch Eingang in Übersichtsarbeiten gefunden haben [Bader und Shugars, 2004; Lussi et al., 2004]. Untersuchungen bezüglich der Sensitivität und Spezifität erscheinen vielversprechend. *Lussi et al.* [2004] fassten in ihrer Übersichtsarbeit zusammen, dass die Sensitivität des Verfahrens an Milchzähnen zwischen 0,75 und 0,82 und die Spezifität zwischen 0,68 und 0,85 liegt. An bleibenden Zähnen lagen die Sensitivitäts-Werte zwischen 0,19 und 0,95 und die Spezifitäts-Werte zwischen 0,50 und 1,00.

Für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit an Milchzähnen wurden Kappa-Werte zwischen 0,72 und 0,81 und an den bleibenden Zähnen Kappa-Werte zwischen 0,75 und 0,93 ermittelt [Lussi et al., 2004]. *Pereira et al.* [2001] beobachteten jedoch eine nicht unerhebliche Geräte- und Untersuchervariabilität. Die Unterschiede bezüglich der Reproduzierbarkeit könnten durch die Fluoreszenzabnahme mit zunehmender Lagerungszeit und mit der Nutzung unterschiedlicher Lagerungsmedien erklärbar sein [Francescut et al., 2006]. Es ist möglich, dass Fluorophore, d.h. die

Produkte, die fluoreszieren, in Lösung gehen oder ihre chemische Struktur verändern. Somit nimmt die Fluoreszenz im Laufe der Lagerungszeit ab. In einer von *Heinrich-Weltzien et al.* [2003] durchgeführten klinischen Studie zur Diagnosegenauigkeit der visuellen, röntgenografischen und laser-optischen Diagnostik konnten im Wesentlichen die Ergebnisse der klinischen Untersuchungen von *Lussi et al.* [2004] bestätigt werden. Die Reproduzierbarkeit lag mit einem Wert von  $\kappa = 0,89$  im fast perfekten Bereich. Die Sensitivität lag bei 0,93 und die Spezifität bei 0,63. Aus den gewonnenen Ergebnissen kamen die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass das laserbasierte DIAGNOdent-Gerät ein hilfreiches Instrument zur nicht invasiven Diagnostik der versteckten okklusalen Dentinkaries darstellt. Die gute Reproduzierbarkeit der Messresultate ermöglicht es ferner, das Gerät zur longitudinalen Beobachtung einer kariösen Stelle zu gebrauchen und dadurch Hinweise auf den Erfolg einer Intensivprophylaxe zu erhalten [Lussi, 2000]. Weiter sollte es möglich sein, durch den Vergleich von aufeinander folgenden Messungen innerhalb einiger Monate Rückschlüsse auf die Kariesaktivität zu ziehen.

### **2.8.3 Registrierung reemittierter Laserfluoreszenzstrahlen mittels DIAGNOdent pen**

Eine Weiterentwicklung des DIAGNOdent ist das DIAGNOdent pen 2190 (KaVo, Biberach, Abb. 2.6). Dieses Gerät enthält neben einer Fissuren-Sonde (blau) für den Scan von Glattflächen und Fissuren eine zusätzliche Sonde (schwarz) für den Scan im Approximalbereich. Diese ist um 360 Grad drehbar und leitet den Laser durch ein Prisma um.



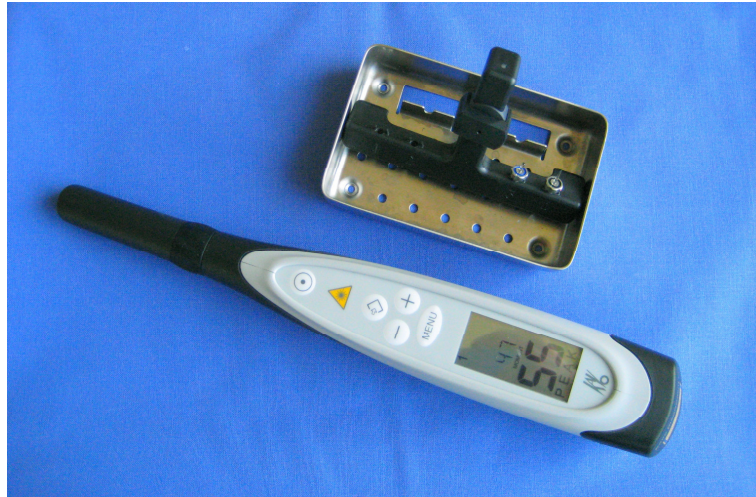


Abb. 2.6: Laserfluoreszenzgerät DIAGNOdent pen 2190 (KaVo, Biberach)

Abschließende Aussagen zum DIAGNOdent pen können aufgrund der geringen Zahl an wissenschaftlichen Untersuchungen derzeit noch nicht getroffen werden. Erste Ergebnisse von *Lussi und Hellwig* [2006] konnten für das DIAGNOdent pen einen Intra-Untersucher Kappa-Wert von 0,83 angeben. Die ermittelte Sensitivität lag zwischen 0,78 und 0,96, die Spezifität zwischen 0,69 und 0,89. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem DIAGNOdent pen und dem klassischen DIAGNOdent. *Ricketts et al.* [2008] erzielten mit dieser Methode an 112 Milchmolaren bei der Diagnose von Okklusalkaries eine Spezifität von 0,90 und eine Sensitivität von 0,74. Der Kappa-Wert für die Reproduzierbarkeit lag bei 0,52 und damit im moderaten Bereich. *Huth et al.* [2008] ermittelten für das DIAGNOdent pen einen Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC) zwischen 0,940 und 0,998.

## 2.9 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)

Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) beruht auf der unterschiedlichen Fluoreszenz und Lichtstreuung von gesunder und erkrankter Zahnhartsubstanz. Dabei geht die kariöse Zerstörung mit einem Fluoreszenzverlust einher, der mit dem Mineralverlust der kariösen Läsion korreliert und mit Hilfe einer Software quantitativ bestimmt werden kann

[Ifland et al., 2004]. Bei dieser Methode werden Proben (z.B. eine Zahnoberfläche) mit Anregungslicht einer bestimmten Wellenlänge beleuchtet und die Fluoreszenzbilder mit Hilfe einer Farbkamera erfasst und ausgewertet.

Die QLF wurde vorrangig zur Detektion und Langzeitbeobachtung von Glattflächenkaries eingesetzt [Ando et al., 1997]. Zur Diagnostik der Okklusalkaries liegen bislang nur wenige Studien vor. Die Sensitivität des Verfahrens für die Detektion von okklusalen Läsionen wird zwischen 68 % und 91 % und die Spezifität zwischen 70 % und 91 % angegeben [Ifland et al., 2004; Kühnisch et al., 2006].

## **2.10 Intraorale Fluoreszenzkamerasysteme (VistaProof)**

Bei dem intraoralen Kamerasystem VistaProof (Dürr Dental GmbH & Co. KG, Bietigheim-Bissingen) handelt es sich um eine Neuentwicklung. Hierbei werden die zu beurteilenden Zahnflächen, nach vorangegangener professioneller Zahnreinigung, mittels Leuchtdioden mit einer Wellenlänge von 405 nm bestrahlt. Das Fluoreszenzlicht wird von einer Optik aufgezeichnet und von einer Software ausgewertet. Auf dem Monitor leuchten gesunde Bereiche im Fluoreszenzbild grün und erkrankte Zahnhartsubstanz leuchtet rot (Abb. 2.7).

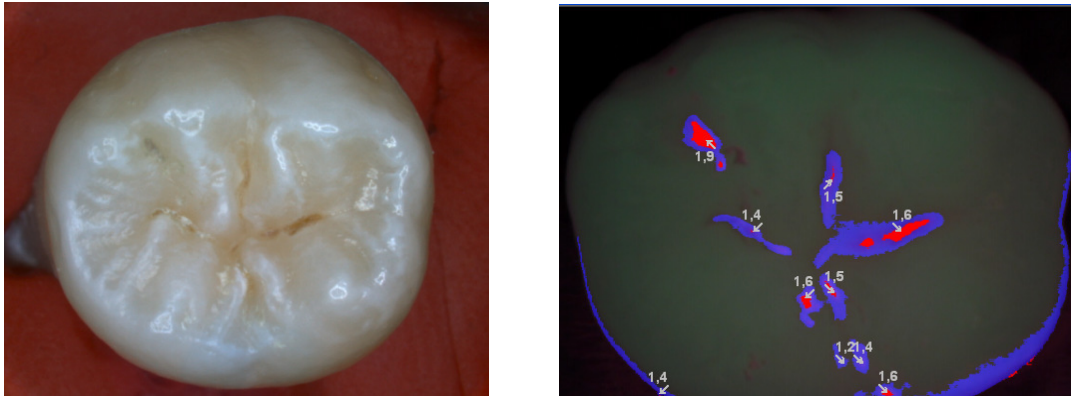


Abb. 2.7: Diagnostik der Fissurenkaries mit Hilfe von VistaProof. Links: Okklusallfläche eines extrahierten Zahnes. Rechts: Auswertung des Fluoreszenzbildes. Die Werte zeigen auf einer Skala von 0-5 die Tiefenausdehnung der Läsion an.

Neben der optischen Hervorhebung definiert die Software auf einer Skala von 0 bis 5 die Tiefe der Läsion (Tab. 2.2).

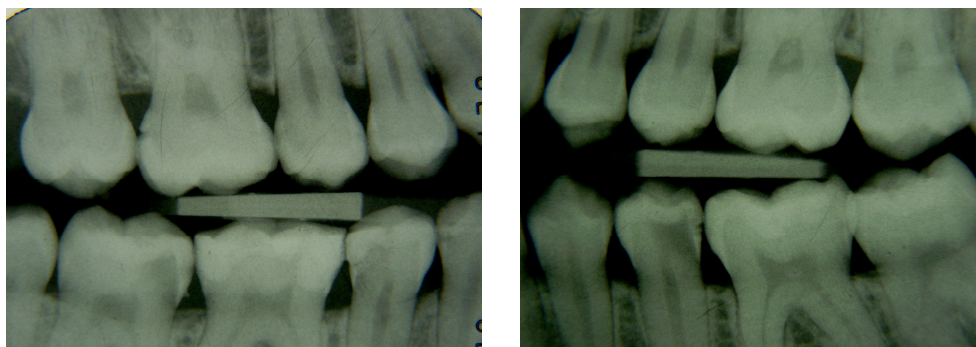
Tab. 2.2: Einteilung der Score-Werte für VistaProof

Score-Werte	Bedeutung
1,0 - 1,5	beginnende Schmelzkaries
1,5 - 2,0	tiefe Schmelzkaries
2,0 - 2,5	Dentinkaries
ab 2,5	tiefe Dentinkaries

Rodrigues et al. [2008] untersuchten 119 bleibende Molaren mittels dieser Methode. Sie erzielten dabei eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,63. Der ungewichtete Intra-Untersucher Kappa-Wert lag bei 0,61 und der Inter-Untersucher Kappa-Wert bei 0,58.

## 2.11 Röntgenologische Kariesdiagnose

Radiologische Verfahren werden als wertvolle Hilfsmittel zur Diagnostik von Zahnerkrankungen angesehen [Heinrich-Weltzien und Kühnisch, 2007]. Als universelle Methode zur röntgenografischen Darstellung des kariösen Prozesses hat sich die von *Raper* [1925] eingeführte Bissflügelaufnahme durchgesetzt (Abb. 2.8). Vorteil dieser Aufnahmetechnik ist, dass die Strahlendosis reduziert werden kann, da sich die Anzahl der Röntgenaufnahmen von zwei auf eine je Seitenzahnggebiet halbiert hat.



*Abb. 2.8: Beispiel für Bissflügelaufnahmen*

Bissflügelaufnahmen stellen die Methode der Wahl dar, um approximale Läsionen zu erfassen [Heinrich-Weltzien und Kühnisch, 2007]. Der Nutzen von Bissflügelaufnahmen zur Okklusalkaries-Diagnostik, vor allem an bleibenden Molaren, wurde allerdings lange Zeit unterschätzt [Heinrich-Weltzien et al., 2008]. Vergleichende klinisch-röntgenologische Untersuchungen konnten jedoch zeigen, dass an bis zu 50 % aller Molaren versteckte okklusale Dentinläsionen diagnostiziert werden konnten [Weerheijm et al., 1992; Heinrich-Weltzien et al., 2001]. Allerdings kann eine Karies im Bereich der Grübchen und Fissuren erst dann im Röntgenbild diagnostiziert werden, wenn der kariöse Prozess bereits bis ins Dentin fortgeschritten ist [Lussi et al., 2003]. Eine solche Läsion ist signifikant mehr mit Laktobazillen und Mutans Streptokokken infiziert als eine nicht röntgensichtbare Karies [Ricketts et al., 1995b] und wird daher als ein sicherer Prädiktor für eine restaurative Therapie angesehen.

In der Literatur findet man Übereinstimmung darüber, dass radiologische Verfahren eine höhere Sensitivität aufweisen als die visuelle Kariesdiagnose [Lussi, 1993; Wenzel, 2004]. Unter Berücksichtigung der Strahlenexposition muss jedoch die rechtfertigende Indikation vorab sorgfältig gestellt werden [Heinrich-Weltzien und Kühnisch, 2007]. D.h., eine Röntgenuntersuchung ist nur dann gerechtfertigt, wenn der gesundheitliche Nutzen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Dies kann z.B. bei parodontalen Erkrankungen, der Kariesdiagnostik, der Endodontie, der Frakturdiagnostik oder der Lokalisation retinierter Zähne der Fall sein.

## **2.12 Histologische Einteilung der Zahnkaries**

### **2.12.1 Histologie der Schmelzkaries**

Die Schmelzkaries wird schon seit langem mit dem Licht- und Polarisationsmikroskop untersucht. In Dünnschliffen von mit Initialläsionen behaftetem Schmelz werden meist vier verschiedene Zonen gefunden. Diese sind jedoch nie gleichzeitig erkennbar, da ihr Erscheinen von dem Imbibitionsmedium bzw. den Doppelbrechungseigenschaften des Zahnschmelzes abhängt. Wichtigstes Merkmal einer Schmelzkaries ist, dass der größte Defekt lange Zeit dicht unter der Schmelzoberfläche liegt und nur von einer dünnen, relativ intakten Schmelzschicht bedeckt wird [Schroeder, 1997]. Von der Dentinseite in Richtung Zahnoberfläche lassen sich folgende Zonen unterscheiden:

#### Transluzente Zone

Die transluzente Zone ist die Zone der fortschreitenden Demineralisation. Sie ist durch die Vergrößerung von Poren im Zahnschmelz bedingt. Das Porenvolumen in dieser Zone beträgt etwa 1% im Gegensatz zu 0,1% bei gesundem Schmelz.

### Dunkle Zone

In der nach außen folgenden dunklen Zone beträgt das Porenvolumen etwa 2-4 %. Die Poren sind aufgrund von Remineralisationsprozessen kleiner als die Poren der transluzenten Zone.

### Läsionskörper

Der Läsionskörper stellt die größte Zone mit der ausgedehntesten Demineralisation der frühen Karies dar und liegt zwischen der dunklen Zone und der Oberflächenschicht. Das Porenvolumen beträgt 5-25 %, der Mineralverlust liegt bei etwa 25 %.

### Oberflächenschicht

Die etwa 30 µm dicke Oberflächenschicht weist einen geringeren Mineralverlust (ca. 5 %) als der Läsionskörper auf und ist das Resultat der ständigen Remineralisationsvorgänge. Die durch organische Säuren aus dem Zahnschmelz gelösten und durch den Diffusionsgradienten in die Plaque diffundierten Kalzium- und Phosphationen repräzipitieren an der Schmelzoberfläche. Dadurch entsteht die scheinbar intakte Oberfläche.

## **2.12.2 Histologie der Dentinkaries**

Die Dentinkaries kann als Folge einer fortschreitenden Schmelzkaries durch die bakterielle Infektion zur vollständigen Zerstörung und Verflüssigung des Dentins führen [Schroeder, 1997]. Im Vergleich zum Schmelz breitet sich der kariöse Prozess im Dentin schneller aus. Diese Ausbreitung kann unterminierend entlang der Schmelz-Dentin-Grenze erfolgen oder penetrierend entlang der Dentinkanälchen in Richtung Pulpa [Schroeder, 1997]. Von der Peripherie des Dentins in Richtung Pulpa lassen sich folgende Zonen unterscheiden:

### Zone der Penetration

Mikroorganismen sind in die Dentinkanälchen eingedrungen.

### Zone der Demineralisation

Diese Zone ist durch entmineralisiertes Dentin gekennzeichnet.

### Dead tracts

In diesem Bereich befinden sich keine vitalen Odontoblastenfortsätze mehr und es besteht keine Verbindung zur Pulpa.

### Zone der Sklerose

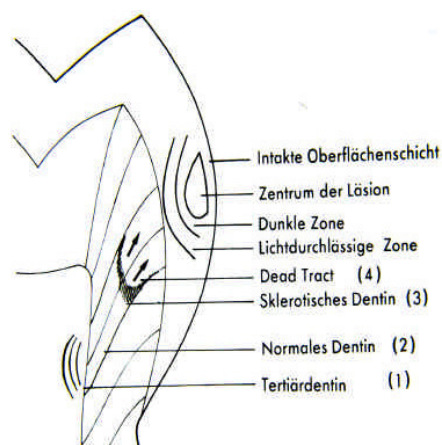
Sie entsteht durch Obliteration der Dentinkanälchen und stellt die erste Abwehrreaktion der Pulpa-Dentin-Einheit dar, wobei das Dentin homogener und röntgenopaker wird. Die tubuläre Sklerose kann durch peritubuläre Dentinablagerung oder durch eine Mineralisation der Odontoblastenfortsätze entstehen.

### Reguläres Dentin

An die veränderten Dentin-Zonen schließt sich eine Schicht unveränderten Dentins an.

### Tertiärdentin

Als Reaktion auf einen peripheren Stimulus entsteht entlang der Pulpa-Dentin-Grenze als Abwehrbarriere Tertiärdentin.



*Abb. 2.9: Fotografische und schematische Darstellung der Histologie einer Schmelz- und Dentinkaries im Zahnhartschnitt. (Bildquelle: Schroeder HE, 1997; Seite 65-80).*



### 2.12.3 Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten als Goldstandard in der Kariesdiagnose

Bevor ein System der Kariesdiagnose klinischen Einsatz findet, ist es erforderlich, das System zu validieren. Dies erfolgt auf der Basis eines sogenannten „Goldstandards“. In der Kariesdiagnose wird als Goldstandard häufig die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten angewendet [Downer, 1975; Huysmans und Longbottom, 2004]. Ein Beispiel für einen Zahnhartschnitt zeigt Abbildung 2.10.

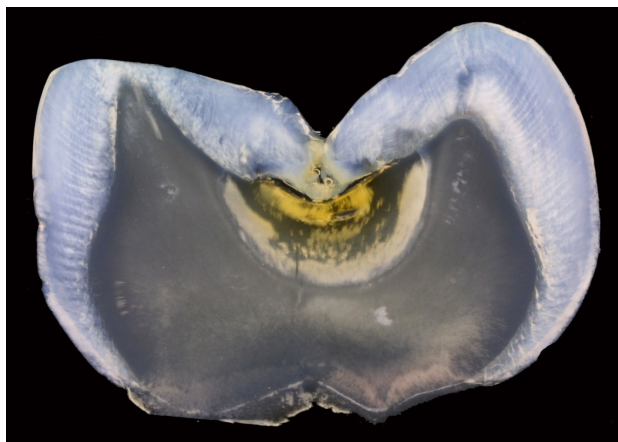


Abb. 2.10: Beispiel für einen Zahnhartschnitt

Zur Untersuchung der Zahnhartschnitte gibt es unterschiedliche Methoden. Zum einen können die Schnitte mit bloßem Auge betrachtet werden. Weiter können Röntgenaufnahmen der Zahnhartschnitte angefertigt werden (Mikroradiographie) oder die Schnitte werden mit einem fokussierten Laserstrahl abgerastert (Konfokale Laser Scanning Mikroskopie) [Hintze et al., 1995; Banerjee und Boyde, 1998; Ricketts et al., 1998]. *Rodrigues et al.* [2008] färben die Zahnhartschnitte mit Rhodamin B. Diese Färbung ist für Karies selektiv und färbt karieserweichte Bereiche dunkelrot an.

Welches Verfahren den am besten geeigneten Goldstandard in der Kariesdiagnose darstellt, ist immer wieder Gegenstand von Untersuchungen. Nach *Hintze et al.* [1995] gilt die Untersuchung der Zahnhartschnitte unter einem Stereomikroskop als Methode der Wahl zur Erfassung der okklusalen Karies. Da eine Zahnkaries als eine mikros-



kopisch sichtbare Läsion beginnt, ist es sinnvoll, auch die Mikroskopie bei der Beurteilung der Kariestiefe anzuwenden [Burket, 1941].

Bei der Beurteilung von Zahnhartschnitten kann der Untersucher ein Mikroskop oder ein Makroskop zur Hilfe nehmen. Das Mikroskop erlaubt eine sehr starke Vergrößerung der zu untersuchenden Stelle, allerdings ist das Untersuchungsfeld eingeschränkt, da nicht das gesamte Präparat in einem Arbeitsgang beurteilt werden kann. Anders dagegen kann der Untersucher mit einem Makroskop bei geringer Vergrößerung das gesamte Präparat in der Übersicht beurteilen. Daher ist das Makroskop bei der Beurteilung der Kariesausdehnung in Zahnhartschnitten besser geeignet.

Als Kriterien zur Kariesausdehnung in den Zahnhartschnitten kommen üblicherweise die von *Downer* [1975] oder *Ekstrand-Ricketts-Kidd* [1997] genannten zum Einsatz. Hierbei dienen Strukturen wie die Schmelz-Dentin-Grenze oder die Pulpa zur Orientierung. Sklerotisches Dentin muss dabei von den kariösen Veränderungen abgegrenzt werden. Dieses entsteht durch die Obliteration von Dentinkanälchen und stellt einen kariesabwehrenden Schutzmechanismus des Zahnes dar. Peritubuläre Dentinablagerungen, Zurückweichen und teilweise Mineralisation der Odontoblastenfortsätze sind weitere Kennzeichen dieses Mechanismus [Schroeder, 1997].

*Huysmans und Longbottom* [2004] konnten für die histologischen Untersuchungen in Kariesdiagnosestudien unterschiedliche Kappa-Werte festhalten. Die Kappa-Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen zwischen 0,37 und 0,93 und die Kappa-Werte für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,44 und 0,75. *Jablonski-Momeni et al.* [2009] erzielten in einer aktuellen Studie gewichtete Kappa-Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,80 und 0,86. Die ungewichteten Kappa-Werte lagen zwischen 0,73 und 0,79. Der gewichtete Kappa-Wert für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit lag zwischen 0,69 und 0,78, während der ungewichtete Kappa-Wert zwischen 0,58 und 0,69 lag.

Für die Herstellung von Zahnhartschnitten gibt es verschiedene Methoden. Die einfachste Variante ist die Halbierung der Zähne bzw. Zahnkronen an

der zu untersuchenden Stelle. Aufwändiger ist die Anfertigung multipler Serienschnitte mit einer Dicke zwischen 250-1000 µm. Bislang gibt es allerdings weder ein einheitliches Verfahren zur Herstellung der Zahnhartschnitte noch zur Befundung unter dem Mikroskop. *Stachniss* [2005] präsentierte eine Methode zur Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne, die teilweise in Kapitel 4.3.5 aufgeführt ist.

### **2.13 Transversale Mikroradiographie (TMR)**

Die Transversale Mikroradiographie (TMR) stellt eine quantitative Methode zur Bestimmung des Mineralgehalts von Zahnschmelz und Dentin dar. Für dieses Verfahren werden Proben in Scheiben mit einer Dicke von ca. 100 µm geschnitten und monochromatischen Röntgenstrahlen ausgesetzt [Arends und ten Bosch, 1992]. Eine mit abgelichtete Eichtreppe dient zur Kalibrierung. Die Graustufen des mikroradiographischen Bildes werden mit einem Densitometer ausgewertet und der Mineralgehalt der Probe wird im Vergleich mit den Graustufen der Eichtreppe automatisch errechnet.

*Arends und ten Bosch* [1992] berichten in einer Studie über verschiedene Analysemethoden zur Bestimmung der De- und Remineralisation von Zahnhartsubstanzen. Demnach gilt die TMR als die praktikabelste Methode zur Bestimmung des Mineralgehaltes. Auch *ten Bosch und Angmar-Månsson* [1991] kommen zu dem Ergebnis, dass die TMR als Methode der Wahl zur Bestimmung des Mineralgehalts für in-vitro-Untersuchungen gilt.

### **2.14 Konfokale Laser Scanning Mikroskopie**

Bei der Konfokalen Laser Scanning Mikroskopie (confocal laser scanning microscope, CLSM) handelt es sich um ein lichtmikroskopisches Verfahren, bei dem einem konventionellen Mikroskop eine Laser-Scan-Einheit samt Detektor aufgesetzt wird. Auf diese Weise ist es möglich, eine Probenoberfläche, z.B. eine Zahnoberfläche, durch den Strahlengang des Mikroskops mit einem stark gebündelten Laserstrahl punktförmig

abzurastern. Die Intensität des reflektierten Laserlichtes wird von einem Detektor gemessen. Der erzielbare konfokale Effekt beruht darauf, dass sowohl der die Probe abrasternde Laserstrahl als auch der von der Probe zurückkommende Laserstrahl durch eine extrem kleine Blende geführt wird. Dadurch stammt das jeweils auf den Detektor treffende Licht aus einer extrem dünnen Schärfentiefebene. Wird die Probe entlang der optischen Achse schrittweise bewegt, können Serien von Schnittbildern angefertigt werden, aus denen dann ein dreidimensionales Abbild entsteht. Somit ermöglicht die CLSM eine Visualisierung von Mikrostrukturen der Zahnhartsubstanz unter der Oberfläche und die Darstellung früher kariöser Läsionen [Duschner et al., 1997; Duschner, 2001]. Der Anwendungsbereich dieses Verfahrens liegt derzeit in Laborstudien.

## **2.15 Mikrohärtemessung**

Bei der Methode der Mikrohärtemessung wird die De- und Remineralisation bestimmt, indem ein Knoop- oder Vickers-Diamant innerhalb einer definierten Zeitspanne auf eine Probe gedrückt wird [Koulourides, 1966]. Der von dem Diamanten in der Probe markierte Eindruck wird dann mikroskopisch in  $\mu\text{m}$  bestimmt.

Nach *ten Bosch und Angmar-Månsson* [1991] stellt diese Methode bei der Bestimmung der De- und Remineralisation eine angemessene Alternative zur TMR dar.

### 3 Zielsetzung und Fragestellung

Der Rückgang der Kariesprävalenz [Pieper, 2005; Micheelis und Schiffner, 2006] und die Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen haben zur Folge, dass die Karies nicht mehr ausschließlich auf dem Kavitationsniveau erfasst werden sollte. Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) ist ein Verfahren, das es ermöglicht, kariös bedingte Veränderungen der Zahnhartsubstanzen bereits im frühen Stadium zu erkennen. Mit der Entwicklung dieses 7-stufigen visuellen Kariesdiagnosesystems wird das Ziel verfolgt, das Verfahren als eine standardisierte Methode in der Lehre, in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien einzusetzen [Pitts, 2004]. Daneben sollen die mit diesem System erhobenen Daten besser in Übersichtsarbeiten oder Meta-Analysen Eingang finden können und somit die Anforderungen der evidenzbasierten Zahnmedizin erfüllen [Richards, 2005]. Neben den rein visuellen Methoden zur Kariesdiagnose stehen dem Zahnarzt eine Fülle weiterer Verfahren zur Verfügung. Hierzu zählt als ein nicht invasives Verfahren die Laserfluoreszenzmessung. Das Grundprinzip beruht darauf, dass Zahnhartsubstanzen unter bestimmten Bedingungen fluoreszieren können [Stübel, 1911]. Dieses Phänomen verändert sich bei kariöser Zerstörung der Zahnhartsubstanz, wobei der Demineralisationsgrad von Schmelz und Dentin mit dem Ausmaß der Fluoreszenz korreliert. Aus diesem Grund können mit Hilfe von Laserfluoreszenzmessungen Veränderungen der Zahnhartsubstanzen erfasst und quantifiziert werden. Vor diesem Hintergrund sollten im Rahmen dieser Dissertation folgende Fragestellungen überprüft werden:

- Wie korrelieren Befunde, die mit dem ICDAS-II erhoben wurden, mit den Werten, die mit dem Laserfluoreszenz-Gerät DIAGNOdent an extrahierten Zähnen gemessen wurden?

- In welchem Bereich liegt die Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen?
- Wie korrelieren Befunde, die mit dem ICDAS-II erhoben wurden, mit den Ergebnissen von histologischen Untersuchungen?
- Wie korrelieren die Befunde der Laserfluoreszenzmessungen an extrahierten Zähnen mit den Ergebnissen von histologischen Untersuchungen?
- In welchem Bereich liegen die Sensitivität und die Spezifität des ICDAS-II, überprüft am Goldstandard Histologie?
- In welchem Bereich liegen die Sensitivität und die Spezifität der Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn, überprüft am Goldstandard Histologie?

Als innovativer Ansatz sollte außerdem folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

- Wie korrelieren Befunde, die mit dem ICDAS-II erhoben wurden, mit den Werten, die mit dem DIAGNOdent bzw. DIAGNOdent pen an Zahnhartschnitten ermittelt wurden?
- Wie korrelieren histologische Befunde, mit den Werten, die mit dem DIAGNOdent bzw. DIAGNOdent pen an Zahnhartschnitten ermittelt wurden?
- Wie korrelieren die Werte von Laserfluoreszenzmessungen am Zahn mit den Werten von Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten?
- Wie hoch ist die Validität von Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten im Vergleich zur mikroskopischen Befundung der Zahnhartschnitte?

## 4 Material und Methode

### 4.1 Versuchsdesign

*Tab. 4.1: Versuchsplan*

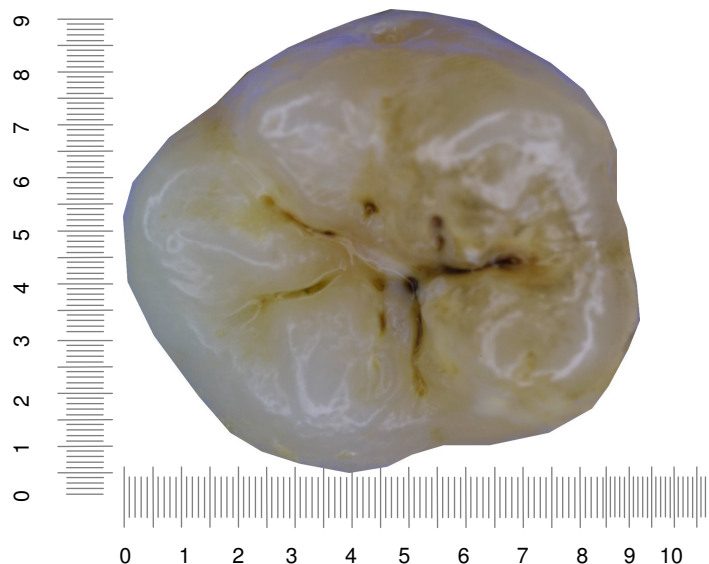
Auswahl und Markierung 100 extrahierter menschlicher bleibender Seitenzähne (85 Molaren, 15 Prämolaren)
Fotodokumentation der Okklusalflächen
Festlegen der Messpunkte in den Fissuren und Grübchen der Zähne
Visuelle Untersuchung der Okklusalflächen nach den Kriterien des ICDAS-II
Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen mit dem DIAGNOdent
Präinfiltration und Einbetten der Zähne zusammen mit einem Messdreieck definierter Längen und Winkel in einem lichthärtenden Acrylat
Herstellung der Zahnhartschnitte (11-15 Serienschnitte je Zahn in vestibulo-oraler Richtung)
Histologische Untersuchung der Zahnhartschnitte
Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten mit DIAGNOdent/DIAGNOdent pen

## 4.2 Material

### 4.2.1 Auswahl der Zähne

Aus einem Pool von extrahierten und in gesättigter Thymol-Lösung gelagerten Zähnen wurden 100 bleibende Seitenzähne (85 Molaren und 15 Prämolaren) mit unterschiedlich tiefen kariösen Läsionen ausgesucht. Die Zähne wurden gereinigt (je nach Bedarf mit: Ultraschall, Prophyflex®, Zahnreinigungsbürstchen und Paste) und an einer Glattfläche (vestibulär oder oral), die nicht in die Beurteilung involviert war, mittels einem rotierenden Instrument mit einer laufenden Nummer versehen. Anschließend wurden die eingravierten Zahlen mit einem wasserfesten Stift nachgezeichnet. Die Zähne wurden in Wasser gelagert.

Der Ausgangsbefund jeder Okklusallfläche sowie ein Glasmaßstab (10 mm) wurden mit einer digitalen Kleinbildkamera (Canon EOS D 30, Objektiv MP-E 65 mm) erfasst (Abb. 4.1). Je Okklusallfläche wurden durch einen Referenzuntersucher (Untersucher A) ein bis vier Messpunkte in den Fissuren und Grübchen festgelegt. Daraus ergaben sich insgesamt 181 Messpunkte, die für die Untersucher zur Verfügung standen. Tabelle 4.2 zeigt die Anzahl der Zähne mit einem, zwei, drei und vier Messpunkten.



*Abb. 4.1: Okklusallfläche eines Zahnes mit einer Skizze der entsprechenden Koordinaten (Glasmaßstäbe)*

*Tab. 4.2: Verteilung der Messpunkte auf die Okklusalfächen der Zähne*

<b>Anzahl der Messpunkte der Okklusalfächen</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Anzahl der Zähne	33	54	12	1
Summe der Messpunkte	181			

Für jeden Zahn wurde ein Dokumentationsbogen erstellt, der neben einer Abbildung der Okklusalfäche mit den entsprechenden Messpunkten Felder für die Dokumentation der Diagnosen enthielt (Anhang I). Der im gleichen Maßstab wie der Zahn reproduzierte Glasmaßstab wurde als x- und y-Achse eines Koordinatensystems eingefügt, um die Lokalisation der ausgewählten Messpunkte bestimmen zu können (Abb. 4.1). Schwarz-Weiß-Kopien der Abbildungen dienten während der Untersuchungen dazu, die Messpunkte an den jeweiligen Zähnen zu lokalisieren.

### **4.3 Methode**

#### **4.3.1 Untersucher**

In diese In-vitro-Studie wurden fünf Untersucher einbezogen. Bei vier Untersuchern (Untersucher A, B, C und D) handelte es sich um approbierte Zahnärzte mit einer Berufserfahrung zum Zeitpunkt der Untersuchung von 8, 20, 31 und 33 Jahren. Untersucher A war an der Entwicklung des ICDAS beteiligt und stand als Trainer und Referenzuntersucher für die visuelle Befundung zur Verfügung. Außerdem nahm eine Zahnmedizinstudentin (Untersucher E) des 9. Semesters an der Studie teil. Diese hatte die extrahierten Zähne zuvor visuell nicht befundet.

Eine Übersicht aller durchgeführten Untersuchungen eines Untersuchers zeigt die nachfolgende Tabelle.



*Tab. 4.3: Übersicht aller durchgeführten Untersuchungen eines Untersuchers*

Untersucher	V	H	LF-Z	LF-H/LF-H pen
A	x	x		
B	x	x		
C	x	x		
D	x	x	x	
E				x
V = Visuelle Untersuchung, H = Histologische Untersuchung, LF-Z = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am extrahierten Zahn, LF-H = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am Zahnhartschnitt, LF-H pen = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent pen) am Zahnhartschnitt				

### 4.3.2 Training der Untersucher

Zu Beginn der Untersuchung wurden drei Untersucher (Untersucher B, C und D) von einem Referenzuntersucher (Untersucher A) durch ein theoretisches und praktisches Training in das ICDAS eingewiesen. In einer zweistündigen Präsentation wurden die verschiedenen ICDAS-II Codes erläutert. Dabei wurde herausgestellt, dass es für die Diagnose bedeutend ist, die Zähne sowohl im feuchten als auch im trockenen Zustand zu untersuchen. Überdies wurde darauf hingewiesen, dass die Zähne vor der Untersuchung gereinigt werden müssen. Anhand von klinischen Bildern und den damit korrespondierenden Zahnhartschnitten wurde demonstriert, dass kleinste subtile Veränderungen am Fissureneingang auf histologische Veränderungen hinweisen können. Anschließend wurde die korrekte Diagnosestellung vertieft, indem ca. 20 Makroaufnahmen von Okklusalfächen, die alle ICDAS-Ausprägungen umfassten, zusammen beurteilt wurden. Abweichende Diagnosen wurden in der Gruppe diskutiert, bis Konsens erzielt war. Danach wurden ca. 20 extrahierte Zähne, die nicht mit in die Hauptstudie einbezogen waren, durch die Untersucher unabhängig voneinander befundet. Die Diagnosen wurden im Anschluss diskutiert.

### 4.3.3 Visuelle Untersuchungen

Die visuellen Untersuchungen fanden im Phantom-Kurssaal bei standardisierter Beleuchtung statt. Untersucht wurden die Zähne von vier Untersuchern (Untersucher A-D) entsprechend den Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der Okklusalkaries. Die Zähne wurden unabhängig voneinander in einer randomisierten Reihenfolge untersucht und die Befunde direkt in die Dokumentationsbögen eingetragen. Die Kriterien des ICDAS-II sind in Tabelle 4.4 dargestellt [ICDAS Coordinating Committee, 2005].

Während der Untersuchung wurden die Zähne immer feucht gehalten und bei Bedarf mit einer Multifunktionsspritze luftgetrocknet. Es wurde darauf geachtet, dass die Zähne vor einer erneuten Befundung ausreichend (ca. 5 min) in Wasser rehydriert wurden.

Die Zähne wurden nach drei Wochen von den Untersuchern B, C und D erneut befundet, um die Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung bestimmen zu können. Untersucher A konnte aus organisatorischen Gründen keine Zweituntersuchung durchführen, da er sich im Ausland befand.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurden abweichende Diagnosen zwischen den Untersuchern diskutiert, um Konsenswerte zu ermitteln.

Tab. 4.4: Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der Okklusalkaries

ICADS-II	Beschreibung	Beispiel
Code 0	Keine sichtbare Karies nach Trocknung im Luftstrom (ca. 5 s). Veränderungen wie Schmelzhypoplasie, Fluorose, Attrition, Abrasion, Erosion, intrinsische und extrinsische Verfärbungen werden ebenfalls mit 0 befundet.	
Code 1	Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche, die erst nach Trocknung des Zahns sichtbar sind. Die Veränderungen können Opazitäten, weißliche oder bräunliche Verfärbungen sein und sind auf Fissuren und Grübchen beschränkt.	
Code 2	Deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche bereits am feuchten Zahn, die sich wie folgt zeigen können: Opazitäten im Sinne einer White Spot Läsion und/oder bräunliche kariöse Verfärbungen in den Fissuren/Grübchen. Die Veränderungen müssen auch am getrockneten Zahn noch sichtbar sein.	
Code 3	Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin. Die Opazitäten und/oder bräunliche oder schwarze kariöse Veränderungen dehnen sich über die Grenze der Fissuren/Grübchen hinaus und sind auch nach Trocknung des Zahns sichtbar. Ggf. kann eine WHO-Sonde vorsichtig über den Schmelzdefekt geführt werden, um so die Diskontinuität der Schmelzoberfläche zu tasten.	
Code 4	Schattenbildung im Dentin ausgehend von Fissuren/Grübchen, mit oder ohne Schmelzeinbruch. Die Schattenbildung ist am feuchten Zahn leichter zu diagnostizieren und kann gräulich, bläulich oder bräunlich sein.	
Code 5	Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin. Am getrockneten Zahn ist der Schmelzverlust am Eingang der Fissuren/Grübchen deutlich sichtbar. Ggf. kann die WHO-Sonde verwendet werden, um das freiliegende Dentin zu ertasten.	
Code 6	Großflächige Kavitätenbildung, dabei ist das Dentin in der Breite und Tiefe des Zahns deutlich sichtbar. Mindestens die Hälfte der Schmelzoberfläche ist kariös zerstört, die Pulpa kann möglicherweise auch betroffen sein.	

#### 4.3.4 Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen

Zusätzlich zu den visuellen Beurteilungen, führte eine Untersucherin (Untersucher D) an den ausgewählten Grübchen und Fissuren nach Lufttrocknung Messungen mit dem DIAGNOdent durch (Abb. 4.2). Um geräteinterne Fehler auszuschließen und konstante Ergebnisse zu sichern, wurde das Gerät vor Beginn der Untersuchungen und nach jeweils 10 Zähnen entsprechend den Angaben des Herstellers am mitgelieferten Keramikstandard kalibriert. Zur Bestimmung der Zahnkonstante wurde die kegelförmige Lichtsonde A an einer klinisch gesunden Fläche des Zahnes aufgesetzt und individuell auf den zu untersuchenden Zahn eingestellt. Anschließend wurden die zu untersuchenden Messpunkte mit der Sonde abgetastet. Dabei erfolgte eine ständige Rotation um die Längsachse der Sonde.



*Abb. 4.2: Laserfluoreszenzmessungen an den Okklusalfächen der extrahierten Zähne*

Pro Messpunkt wurde sowohl der aktuelle als auch der Peak-Wert auf entsprechenden Befundbögen dokumentiert (Anhang II). Die gemessenen Scores können Werte zwischen 0 und 99 annehmen. Danach wurde eine

Kategorisierung der Fluoreszenzwerte entsprechend der klinischen Relevanz vorgenommen (Tab. 4.5) [Lussi, 2000; Lussi et al., 2001].

Nach einer Woche wurden die Messungen wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Untersuchungen überprüfen zu können. Zwischen den Untersuchungen wurden die Zähne in Wasser gelagert.

*Tab. 4.5: Einteilung der Laserfluoreszenz-Scores*

<b>DIAGNOdent Anzeigewert</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Status der Läsion</b>	<b>Hinweise für die Therapie</b>
0-14	I	gesund	Keine besonderen Maßnahmen
15-20	II	Schmelzkaries	Übliche Prophylaxemaßnahmen
21-30	III	Dentinkaries	Intensivierte Prophylaxe oder Restauration. Indikation ist u.a. abhängig von: Kariesaktivität, Kariesrisiko, Recallintervall
ab 30	IV	Dentinkaries	Restauration und intensivierte Prophylaxe

#### **4.3.5 Herstellung der Zahnhartschnitte**

Für die histologische Kariesdiagnose wurden die klinischen Zahnkronen 0,5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze abgetrennt und nach der von *Stachniss* [2005] beschriebenen Methode aufbereitet. Die einzelnen Schritte zur Herstellung der Zahnhartschnitte sind in Tabelle 4.6 detailliert aufgeführt.

Von jedem Zahn wurden 11-15 Serienschnitte mit einer Dicke von 200 µm ( $\pm 30$  µm) hergestellt und in speziellen Kästen aufbewahrt. Das Protokoll zur Entwässerungs- und Infiltrationsreihe für die Zahnkronen sowie zur Herstellung der Zahnhartschnitte ist in Anhang III und IV aufgeführt.

Tab. 4.6: Methodik zur Herstellung der Zahnhartschnitte

Entwässerung der Proben in einer 5-stufigen Alkoholreihe: je 12 Stunden in Alkohol in aufsteigender Konzentration (%): 40, 60, 80, 100, 100	
Präinfiltration der Zähne in Alkohol/Acrylat (1:1) für 24 Std; Infiltration in Acrylat (Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer) für 36 Std.	
Zweistufige Lichtpolymerisation (Histolux, Exakt) für 10 Std.	
3-dimensional orientierte Montage der Kronen zusammen mit einem Messdreieck definierter Längen und Winkel (IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA); Einbetten der Kronen in Acrylrohre mit lichthärtendem Acrylat (Technovit 7200 VLC)	
Montage der Kronen auf eine Platte mit Acrylglas	
3-dimensional orientiertes Schneiden mit einer Diamantband-Säge (Exakt) mit aufgeklebten Objektträgern der Größe 75x26x2mm	
Molaren in einer Schrittweite von 750 $\mu\text{m}$ ( $\pm 30 \mu\text{m}$ ) mit einem 200 $\mu\text{m}$ dicken Diamantband	Prämolaren in einer Schrittweite von 500 $\mu\text{m}$ ( $\pm 30 \mu\text{m}$ ) mit einem 100 $\mu\text{m}$ dicken Diamantband
Schleifen und Politur der histologischen Schnitte auf Karborund-Schleifpapier (Körnung 1,200, 2,400 und 4,000, Hermes) bis zu einer Präparatdicke von 200 $\mu\text{m}$ ( $\pm 30 \mu\text{m}$ ) (kontrolliert mit digitalem Mikrometer, Müller)	
Eindecken der Präparate mit 135 $\mu\text{m}$ dicken Deckgläschen aus Mineralglas mit Technovit 7200 VLC und 7210 VLC	

#### 4.3.6 Zuordnung der Zahnhartschnitte zu den Messpunkten

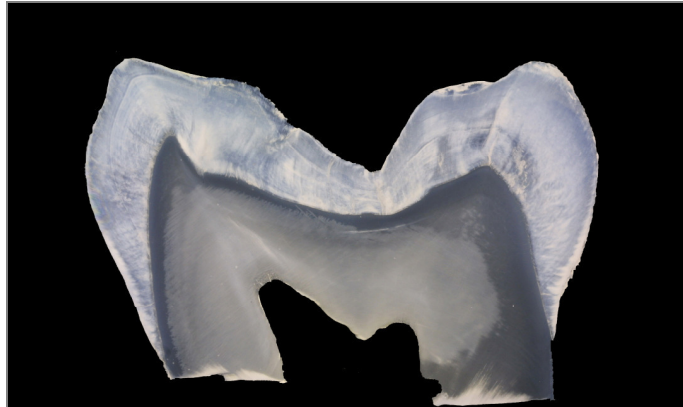
Damit den histologischen Schnitten der jeweilige Messpunkt zugeordnet werden konnte, wurde parallel zur Oberfläche jedes Zahnes eine Messmarke in Form eines rechtwinkligen Dreiecks (Abb. 4.3) aus einer Farbfolie auf die Montagefläche der Einbettform montiert. Nach dem Schneiden der eingebetteten Zahnkronen in vestibulo-oraler Schnitt-richtung enthielt jede Schnittebene einen Ausschnitt aus diesem Dreieck in Form einer kleiner Farblinie (Abb. 4.4).

Das Messdreieck hatte folgende Eigenschaften: Die Basis des Dreiecks war  $a = 9 \text{ mm}$  und die Höhe  $b = 18 \text{ mm}$ . Die Berechnung für den Steigungswinkel  $\beta$  war:

$\tan \beta = b/a = 18/9 = 2$ , somit war der Winkel  $\beta = \sim 63,5^\circ$ .



Abb. 4.3: Schematische Darstellung der Lagebeziehung des blauen Messdreiecks zum Zahn



*Abb. 4.4: Skizze einer Schnittebene mit einem Ausschnitt aus dem Dreieck in Form einer kleiner Farblinie (blau)*

Die im Präparat direkt messbare Länge ML ist ein indirektes Maß für die Höhe der Schnittebene über der Basis des Dreiecks und der Montagefläche des Zahnes. Zur Berechnung der Höhe H jedes Schnittes über der Montagefläche gilt folgende geometrische Beziehung:

$$H/b = (a-ML)/a,$$

woraus sich durch Auflösung nach H ergibt:

$$H = b \times (a-ML)/a.$$

Durch das Einsetzen der bekannten Größen von a und b ergibt sich dann folgende Berechnung:

$$H = 18 \times (9-ML)/9 \text{ und damit } H = 2 \times (9-ML).$$

Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass genau die histologischen Schnitte beurteilt wurden, die im Bereich der zu befundenden Messpunkte lagen (Abb. 4.5).



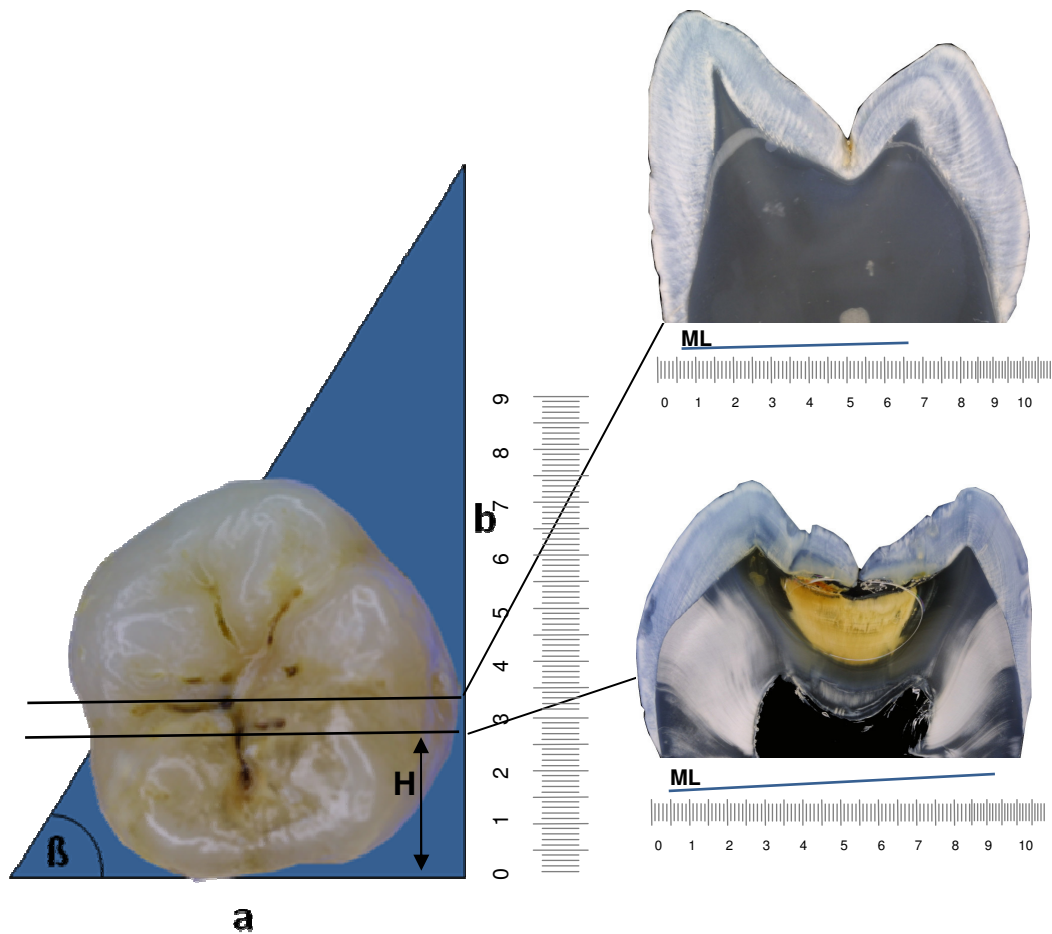


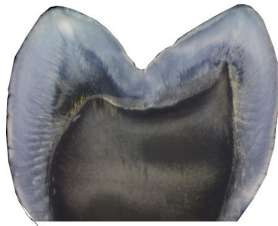
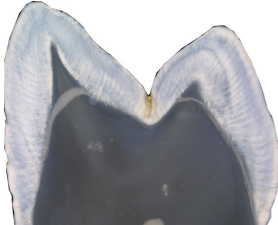
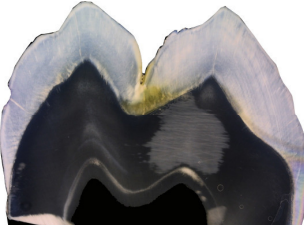
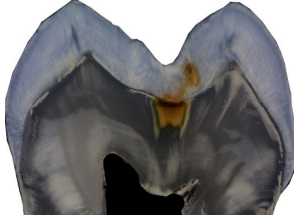
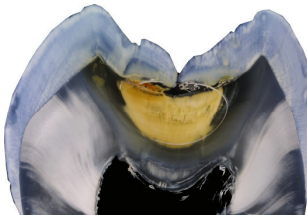
Abb. 4.5: Schematische Darstellung der Zuordnung der Zahnhartschnitte zur Zahnebene

#### 4.3.7 Histologische Untersuchung

Zu Beginn der histologischen Untersuchung erfolgte ein einstündiges Training durch einen erfahrenen Untersucher (Untersucher A). Dabei wurde an ca. 50 digitalen Aufnahmen von Zahnhartschnitten, die nicht in der vorliegenden Studie verwendet wurden, die histologischen Klassifizierungen der Karies besprochen und geübt. Die Befundung der Zahnhartschnitte erfolgte durch die Untersucher A, B, C und D. Diese beurteilten die Zahnhartschnitte unabhängig voneinander in einer randomisierten Reihenfolge unter einem Stereo-Makroskop (M 420, Wild Heerbrugg AG, Gais Schweiz)

bei 16 facher Vergrößerung unter Auflicht. Als Index galten die von *Downer* [1975] genannten Kriterien (Tab. 4.7).

Tab. 4.7: Kriterien der histologischen Untersuchung

Score	Kriterien nach <i>Downer</i> [1975]	Beispiel
0	Gesund	
1	Schmelzkaries, auf die äußere Schmelzhälfte beschränkt	
2	Schmelzkaries, bis zur inneren Schmelzhälfte erweitert	
3	Dentinkaries, auf die äußere Dentinhälfte beschränkt	
4	Dentinkaries, auf die innere Dentinhälfte erweitert	

Jedem Messpunkt konnten 1-4 Schnitte zugeordnet werden. Bei der histologischen Untersuchung konnten 15 Messpunkte nicht beurteilt werden, da diese entweder beim Schneiden beschädigt worden bzw. verloren gegangen waren oder Schwierigkeiten bestanden, die Tiefe der Läsion zu bestimmen. Somit wurden 339 Zahnhartschnitte, die 166 Messpunkten zuzuordnen waren, histologisch untersucht. Es wurden bei 37 Messpunkten ein Hartschnitt, bei 91 Messpunkten zwei Hartschnitte, bei 32 Messpunkten drei und bei 6 Messpunkten vier Hartschnitte für die Beurteilung verwendet. Zunächst wurden alle korrespondierenden Zahnhartschnitte befundet und die Ausdehnung der Läsion wurde erfasst. Für die statistischen Auswertungen wurde je Messpunkt der höchste Score, das bedeutet, die tiefste Ausdehnung der Karies innerhalb der entsprechenden Schnitte, dokumentiert. Sklerotisch verändertes Dentin wurde nicht in die Bewertung einbezogen. Die Diagnosen wurden von den Untersuchern auf speziellen Belegbögen (Anhang V) erfasst.

Nach einer Woche wurden von jedem Untersucher ca. 30 % der histologischen Schnitte erneut befundet, um die Konstanz jedes Untersuchers zu überprüfen.

Da die Übereinstimmung der histologischen Untersuchung sowohl bei den Wiederholungsuntersuchungen der einzelnen Untersucher als auch im Vergleich zum Referenzuntersucher substantiell bis fast perfekt waren [Jablonski-Momeni et al., 2008b], wurden die weiteren Berechnungen mit Konsens-Werten durchgeführt. Diese Konsens-Entscheidungen wurden wie folgt getroffen: Die unabhängigen Befunde der Untersucher A-D wurden miteinander verglichen. Wenn drei oder mehr Untersucher in ihrer Diagnose übereinstimmten, wurde dieser Wert als Konsens gewählt. Lag eine größere Diskrepanz zwischen den Diagnosen vor, wurden die Zahnhartschnitte erneut gemeinsam untersucht und das Ergebnis wurde in der Gruppe diskutiert.

#### 4.3.8 Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten

Zu Beginn der Untersuchung wurde Untersucher E in einer theoretischen Sitzung mit der Anwendung der Laserfluoreszenzgeräte vertraut gemacht. Danach wurde der Gebrauch der Geräte geübt, indem an ca. 20 extrahierten Zähnen und danach an ca. 20 Zahnhartschnitten, die nicht in die Studie einbezogen waren, Laserfluoreszenzmessungen durchgeführt wurden. Die Kariesdiagnose mit den Geräten DIAGNOdent und DIAGNOdent pen an den Zahnhartschnitten erfolgte unter einem Stereo-Makroskop. Für die Messungen wurde sowohl für das DIAGNOdent als auch für das DIAGNOdent pen die jeweilige Fissuren-Sonde (Sonde A/blau Sonde) verwendet (Abb. 4.6).



*Abb. 4.6: Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten*

Es erfolgte zunächst eine Kalibrierung der Geräte mit Hilfe des vorgesehenen Keramikstandards nach Werks-Angaben. Dann wurde der Peak-Wert an einer gesäuberten Stelle des Objektträgers ermittelt und dokumentiert. Dieser Wert lag zwischen 0 und 2, sodass davon

auszugehen war, dass der Objektträger keine Eigenfluoreszenz aufwies. Die zu untersuchenden Bereiche wurden dann mit der Sonde ohne Druck, von der Fissur beginnend, bis zur tiefsten Stelle der Kariesausdehnung abgefahren. Die tiefste Ausdehnung der kariösen Läsion wurde auf Befundbögen (Anhang VI) durch eine horizontale Linie markiert und der Peak-Wert notiert. Die Einteilung der gemessenen Werte richtete sich nach den Angaben des Herstellers (Tab. 4.5). Nach einer Woche wurden 30 % der Messungen wiederholt, um die Reproduzierbarkeit überprüfen zu können.

#### **4.4 Dokumentation**

Zur Dokumentation der Diagnosen wurden geeignete Auswertungsbögen erstellt. Die Auswertungsbögen für die visuelle Untersuchung sowie für die Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen enthielten neben einer Abbildung der jeweiligen Okklusalfäche mit den zugehörigen Messpunkten Felder für die Diagnosen. Um die Lokalisation der ausgewählten Messpunkte bestimmen zu können, wurde ein im gleichen Maßstab wie der Zahn reproduzierter Glasmaßstab als x- und y-Achse eines Koordinatensystems eingefügt (Abb. 4.1). Die Auswertungsbögen wurden als Schwarz-Weiß-Kopien an die Untersucher ausgeteilt und während der Messung dazu benutzt, die Läsionen zu lokalisieren.

Die Dokumentation der Diagnosen für die histologische Untersuchung und die Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten erfolgte auf ähnlichen Befundbögen. Diese enthielten neben der Abbildung des Zahnhartschnittes geeignete Tabellen zur Dokumentation der Diagnosen. Der zu untersuchende Bereich war durch zwei vertikale Linien eingegrenzt. Zur Bestimmung der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit wurden die Untersuchungen nach einer Woche ein zweites Mal durchgeführt.

## 4.5 Statistische Auswertung

Die Daten wurden zunächst auf Befundbögen erfasst und danach in ein Tabellenkalkulationsprogramm (MSExcels<sup>®</sup>) übertragen. Es folgte der Datentransfer von Excel in SPSS, Version 14.0, zur statistischen Auswertung. Berechnet wurden Cohens Kappa, der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient, der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman sowie Sensitivität und Spezifität.

### *Cohens Kappa*

Als Maß für die Reproduzierbarkeit wurde Cohens Kappa berechnet. Dieser gibt die Übereinstimmung der Untersucher mit dem Referenzuntersucher (Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit) und die Konstanz jedes einzelnen Untersuchers (Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit) an. Die Bewertung des Kappa-Wertes ( $\kappa$ ) wurde nach *Landis und Koch* [1977] entsprechend folgender Einteilung vorgenommen:

$\kappa = 0,00-0,20$  geringe,  $\kappa = 0,21-0,40$  ausreichende,  $\kappa = 0,41-0,60$  moderate,  $\kappa = 0,61-0,80$  substantielle und  $\kappa = 0,81-1,00$  fast perfekte Übereinstimmung.

Berechnet wurde sowohl der einfache als auch der gewichtete Kappa-Koeffizient, wobei der gewichtete Kappa-Koeffizient für ordinale Skalen besser geeignet ist [Cohen, 1968]. Prinzip des gewichteten Kappa ist es, dass, wenn wie in unserem Falle Score-Werte zwischen I und IV zur Verfügung stehen, eine Diskordanz zwischen den Werten I und II als weniger gravierend zu bewerten ist als eine Diskordanz zwischen I und III oder gar I und IV. Entsprechend weist man geringen Diskordanzen kleine Gewichte und starken Diskordanzen große Gewichte zu.

Die Wichtung wirkt sich wie folgt auf den Kappa-Wert aus: Wenn die Abweichungen hauptsächlich aus geringer gewichteten Werten bestehen, ergibt sich ein höherer Kappa-Wert. Bestehen sie hauptsächlich aus stärker gewichteten Werten, resultiert daraus ein niedriger Kappa-Wert.

Für die Berechnungen wurde der Cicchetti-Allison Weight mit dem Programm ComKappa (Version 1.0, Copyright 1997 R, Bakeman & B.F. Robinson) verwendet (lineare Gewichtung).

#### *Intraclass Correlation Coefficient (ICC)*

Neben der Kappa-Statistik wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen berechnet. Es können Werte zwischen +1 und -1 auftreten, wobei für die Interpretation des ICC die gleichen Abstufungen gelten, wie für den Spearman-Koeffizienten (siehe unten).

#### *Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman*

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman wurde zur Überprüfung der Korrelation der Diagnosen verwendet. Der Korrelationskoeffizient gibt die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Variablen (die Diagnosen der Untersucher) mit einer Maßzahl an. Der Korrelationskoeffizient wird mit  $r$  symbolisiert und liegt zwischen -1 und +1, wobei ein Betrag nahe +1 einen starken und ein Betrag nahe 0 einen schwachen Zusammenhang bedeutet. Ein negativer Korrelationskoeffizient bedeutet einen gegenläufigen Zusammenhang.

Zur Beschreibung der Größe des Korrelationskoeffizienten ( $r_s$ ) wurden folgende Abstufungen nach *Ricketts et al.* [1998] gewählt:

$r_s = 0-0,3$  geringe,  $r_s = 0,3-0,7$  moderate und  $r_s = 0,7-1,0$  hohe Korrelation.

#### *Sensitivität und Spezifität*

Die Sensitivität ist die Fähigkeit eines Tests, Personen mit der fraglichen Erkrankung als erkrankt zu erkennen. Die Angabe der Sensitivität in Prozent ist der prozentuale Anteil der korrekt positiven Diagnosen an der Gesamtzahl der Erkrankten [Zöfel, 2002]. Die Sensitivität berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{Sensitivität} = \frac{\text{Richtig Positiv}}{\text{Richtig Positiv} + \text{Falsch Negativ}}$$

Die Spezifität ist die Fähigkeit eines Tests, Personen ohne die fragliche Erkrankung als gesund zu erkennen. Die Spezifität in Prozent ist der Anteil der korrekt negativen Diagnosen an der Gesamtzahl der Nichterkrankten [Zöfel, 2002]. Die Spezifität berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{Spezifität} = \frac{\text{Richtig Negativ}}{\text{Richtig Negativ} + \text{Falsch Positiv}}$$

Die Ermittlung der Sensitivität und Spezifität erfolgte für die visuellen Untersuchungen und die Laserfluoreszenzmessungen unter zwei Bedingungen:

- Karies auf D1-Niveau: Dabei wurden Schmelz- und Dentinläsionen zusammengefasst [Fyffe et al., 2000b]. Der histologische Score 0 wurde als gesund und die Scores 1-4 wurden als erkrankt eingestuft.
- Karies auf D3-Niveau (Dentinkaries): Dabei wurden die histologischen Scores 3-4 als Dentinkaries eingestuft.

### *Receiver Operating Characteristic Curves (ROC-Kurven)*

Mit ROC-Kurven wird das Zusammenwirken von Sensitivität und Spezifität eines diagnostischen Tests analysiert, indem die Sensitivität gegen den Komplementärwert der Spezifität zu 1 aufgetragen wird [Zöfel, 2002]. Ein diagnostischer Wert ohne jede Vorhersagekraft ergibt eine 45-Grad-Linie (Diagonale). Je bauchiger die ROC-Kurve ist, desto größer ist die Vorhersagekraft des Tests. Als Maß gilt die AUC (Area Under the Curve), die bei einem Test ohne jede Vorhersagekraft bei 0,5 und im Maximalfall bei 1



liegt. An der ROC-Grafik kann dann der optimale Cutpoint (Trennpunkt) bestimmt werden, d.h. der Punkt, bei dem Kranke und Gesunde am besten getrennt werden. Dazu wird derjenige Punkt auf der Kurve ausgesucht, bei dem der Abstand zur Winkelhalbierenden am größten ist.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Verteilung der Diagnosen für die visuelle Untersuchung

Die visuelle Untersuchung erfolgte durch vier Untersucher (Untersucher A-D) entsprechend den Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der okklusalen Karies (Tab. 2.1). Im Anschluss an die unabhängige Befundung der Okklusalflächen legten die Untersucher für jeden Messpunkt einen Konsens-Wert fest. Abbildung 5.1 zeigt die Verteilung der Diagnosen für die visuelle Untersuchung entsprechend dieser Konsens-Entscheidungen.

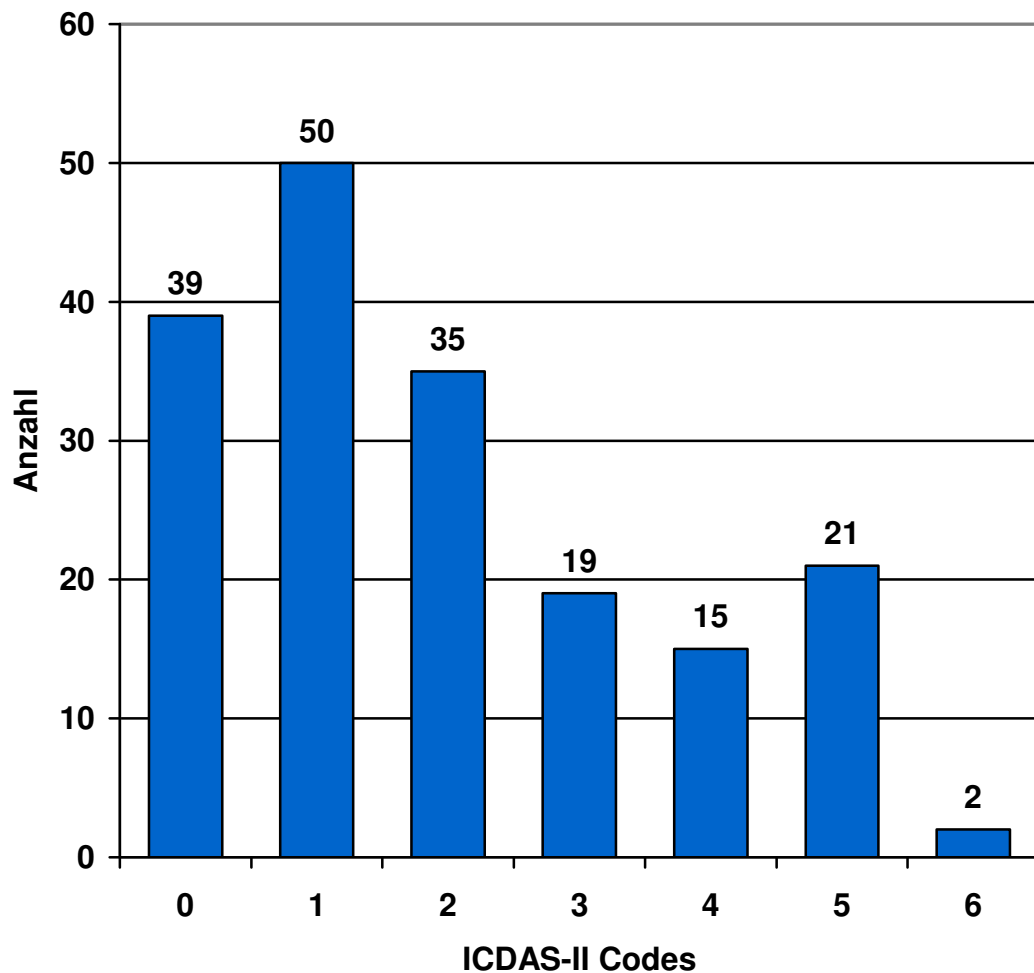
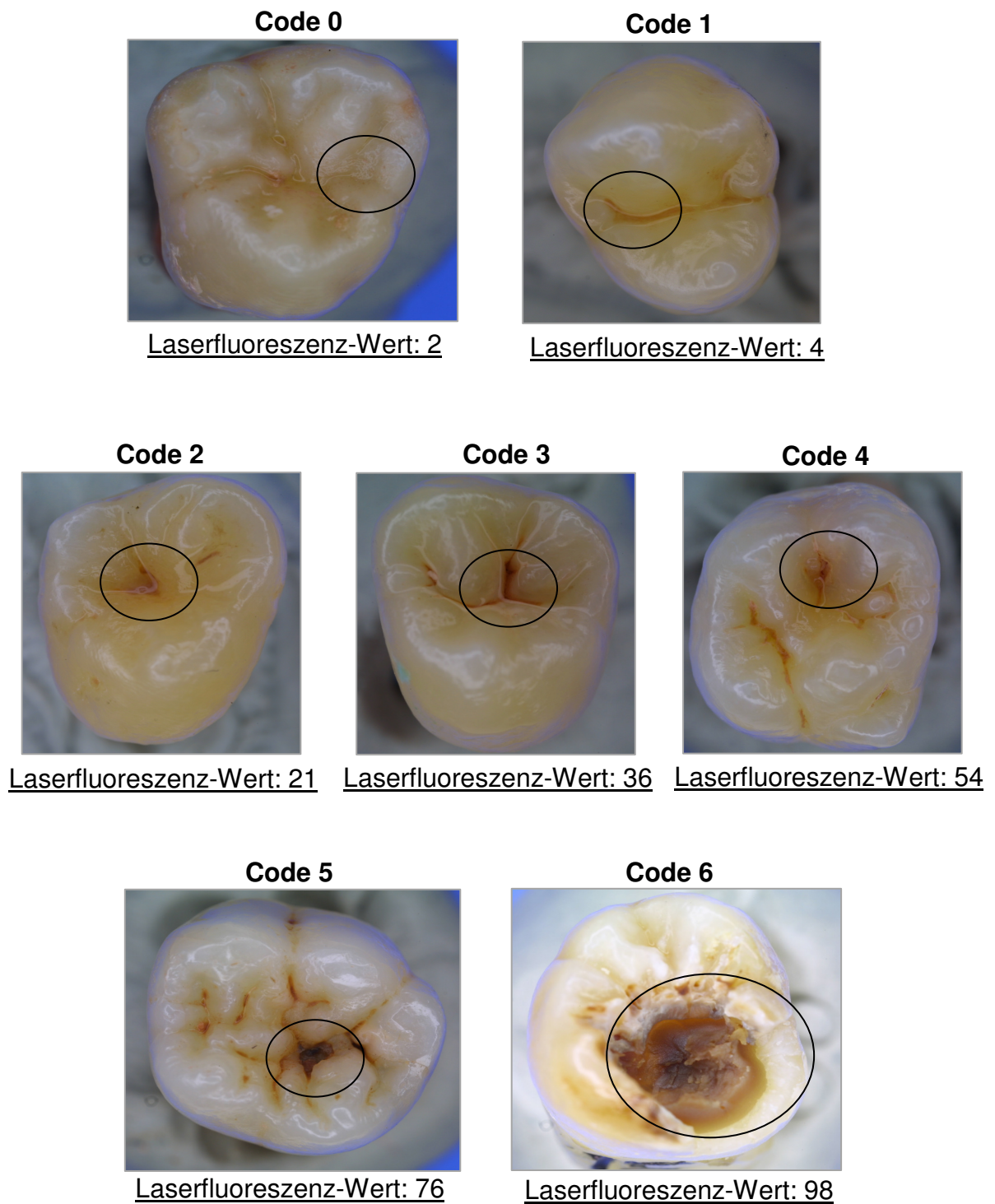


Abb. 5.1: Häufigkeitsverteilung der Diagnosen für die visuelle Untersuchung (ICDAS-II, Konsens-Entscheidungen)

Die in Abbildung 5.1 dargestellte Häufigkeitsverteilung der visuellen Befunde zeigt Folgendes: 21,6 % (39 von 181) der untersuchten Messpunkte wiesen nach Trocknung im Luftstrom keine sichtbare Karies auf (Code 0). Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche nach Trocknung des Zahns waren bei 27,6 % der Messpunkte erkennbar (Code 1). 19,3 % der Messpunkte wiesen deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche auf (Code 2) und bei 10,5 % der Messpunkte war eine Demineralisation bzw. ein Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren zu erkennen (Code 3). 8,3 % der untersuchten Messpunkte zeigten eine Schattenbildung im Dentin, ausgehend von den Fissuren und Grübchen (Code 4). Bei 12,7 % der Messpunkte war eine deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin nachweisbar bzw. es wurde eine großflächige Kavitation diagnostiziert (Code 5 und 6).

## **5.2 Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an extrahierten Zähnen**

In Abbildung 5.2 ist exemplarisch für jeden ICDAS-II Code der korrespondierende Laserfluoreszenz-Wert angegeben.



*Abb. 5.2: Beispiele für die ICDAS-II Codes 0 bis 6 mit den korrespondierenden Laserfluoreszenz-Werten*



### 5.3 Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen

Um die Konstanz der Untersucher für das Laserfluoreszenzverfahren zu ermitteln, führte Untersucher D Zweituntersuchungen an den extrahierten Zähnen und Untersucher E Zweituntersuchungen an den Zahnhartschnitten durch. Dabei wurden ca. 30 % der Messpunkte erneut befundet. Tabelle 5.2 zeigt die einfachen und gewichteten Kappa-Werte für die jeweiligen Laserfluoreszenz-Untersuchungen. Die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten für die DIAGNOdent-Doppeluntersuchungen sind in Tabelle 5.3 angegeben.

*Tab. 5.2: Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen*

Untersucher	Gewichtete (einfache) Kappa-Werte		
	LF-Z	LF-H	LF-H pen
D	0,80 (0,66)		
E		0,90 (0,77)	0,94 (0,87)
LF-Z = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am extrahierten Zahn LF-H = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am Zahnhartschnitt LF-H pen= Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent pen) am Zahnhartschnitt			

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass sowohl die einfachen als auch die gewichteten Kappa-Werte für die Laserfluoreszenz-Untersuchungen im substantiellen bis fast perfekten Bereich lagen.

*Tab. 5.3: Intra-Klassen-Korreationskoeffizient der Laserfluoreszenzmessungen*

Untersuchung	Intra-Klassen-Korreationskoeffizient (ICC)
LF-Z	0,957
LF-H	0,988
LF-H pen	0,828
LF-Z = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am extrahierten Zahn LF-H = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am Zahnhartschnitt LF-H pen= Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent pen) am Zahnhartschnitt	

Die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten liegen für die Laserfluoreszenzmessungen in der Größenordnung einer hohen Korrelation.

#### 5.4 Korrelation der visuellen und histologischen Befunde

Tabelle 5.4 zeigt die Kreuztabelle der visuellen Befunde gegen die Histologie-Klassifizierung nach *Downer* [1975].

Tab. 5.4: Kreuztabelle der visuellen und histologischen Befunde

Downer (Konsens- Entscheidungen)	ICDAS-II Codes (Ergebnisse der Konsens-Entscheidungen)							n
	0	1	2	3	4	5	6	
0	24	14	4	-	1	1	-	44
1	7	11	8	-	-	1	-	27
2	4	10	12	4	-	1	1	32
3	-	9	9	13	10	9	-	50
4	-	-	1	-	4	7	1	13
n	35	44	34	17	15	19	2	166
* Einteilung der Laserfluoreszenz-Messwerte: I = 0-14, II = 15-20, III = 21-30, IV = 31-99								

Die Verteilung in Tabelle 5.4 zeigt Folgendes: 68,6 % (24 von 35) der als ICDAS Code 0 befundeten Messpunkte waren auch histologisch als gesund erkennbar (Histologie Code 0, grün markierte Felder). 52,6 % der Messpunkte, die bei der visuellen Untersuchung als Schmelzveränderung ohne Verlust der Schmelzstruktur oder Kavitationsbildung befundet worden waren (ICDAS Codes 1 und 2), waren auch histologisch als Schmelzläsionen erkennbar (blau markierte Felder). Die orange markierten Felder zeigen diejenigen Messpunkte, die visuell einen Verlust der Schmelzstruktur und/oder eine Dentinbeteiligung aufzeigten (ICDAS Codes 3 bis 6). 83 % dieser Messpunkte wurden histologisch als Dentinläsion erkannt.

Die visuellen und histologischen Befunde zeigten eine Korrelation von  $r_s = 0,70$ . Dies entspricht nach *Ricketts et al.* [1998] einer mittleren Korrelation.

### 5.5 Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an extrahierten Zähnen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Kreuztabellierung der Ergebnisse der histologischen Untersuchung (*Downer*-Kriterien, Konsens-Entscheidung) und der Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn.

*Tab. 5.5: Kreuztabelle der histologischen Befunde und der Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen*

Laserfluoreszenz-Kategorien*	Histologie nach Downer (Ergebnisse der Konsens-Entscheidungen)					n
	0	1	2	3	4	
I	38	20	22	18	3	101
II	2	1	6	6	1	16
III	3	2	-	9	2	16
IV	1	4	4	17	7	33
n	44	27	32	50	13	166
* Einteilung der Laserfluoreszenz-Messwerte: I = 0-14, II = 15-20, III = 21-30, IV = 31-99						

Tabelle 5.5 zeigt Folgendes: Bei 86,4 % der Präparate, die histologisch als gesund eingestuft waren (Code 0), wurde dieses Ergebnis mittels der Laserfluoreszenzmessungen bestätigt (grünes Feld). Bei 55,6 % der Messpunkte, die histologisch eine Dentinbeteiligung aufwiesen, war der korrespondierende Laserfluoreszenz-Wert größer als 20 (Kategorie III und IV, orange markierte Felder).

Die Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen zeigten eine geringe Korrelation ( $r_s = 0,41$ ) mit der histologischen Kariesdiagnose.



## 5.6 Sensitivität und Spezifität

Die Spezifität, d.h. die Wahrscheinlichkeit, mit der ein diagnostisches Verfahren Gesundes tatsächlich auch als gesund erkennt, und die Sensitivität, d.h. die Wahrscheinlichkeit, mit der ein diagnostisches Verfahren Erkranktes tatsächlich auch als krank erkennt, wurden für das ICDAS-II und für die Laserfluoreszenzmessungen berechnet. Als Goldstandard diente die histologische Klassifizierung nach *Downer* [1975]. Eine Differenzierung wurde wie folgt vorgenommen: Auf dem D1-Niveau wurden Schmelz- und Dentinläsionen zusammengefasst. Dabei wurde der histologische Score 0 als gesund und die Scores 1-4 als erkrankt eingestuft [Fyffe et al., 2000b]. Auf dem D3-Niveau (Dentinkaries) wurden die histologischen Scores 3-4 als Dentinkaries eingestuft.

Mit den ermittelten Daten zur Spezifität und Sensitivität wurden Receiver Operating Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) gebildet. Die ROC-Kurven für das D1- und das D3-Niveau sind in den Abbildungen 5.3 und 5.4 dargestellt. Die dazugehörigen Tabellen zeigen die ermittelte Fläche unter der Kurve (AUC), das 95 % Konfidenzintervall, die Sensitivität und Spezifität sowie die Summe dieser Werte. Dieser Wert sollte bei mindestens 160 liegen, bevor ein diagnostisches Verfahren als klinisch relevant betrachtet werden kann [Kingman, 1990].

### 5.6.1 Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries mittels histologischer Untersuchung

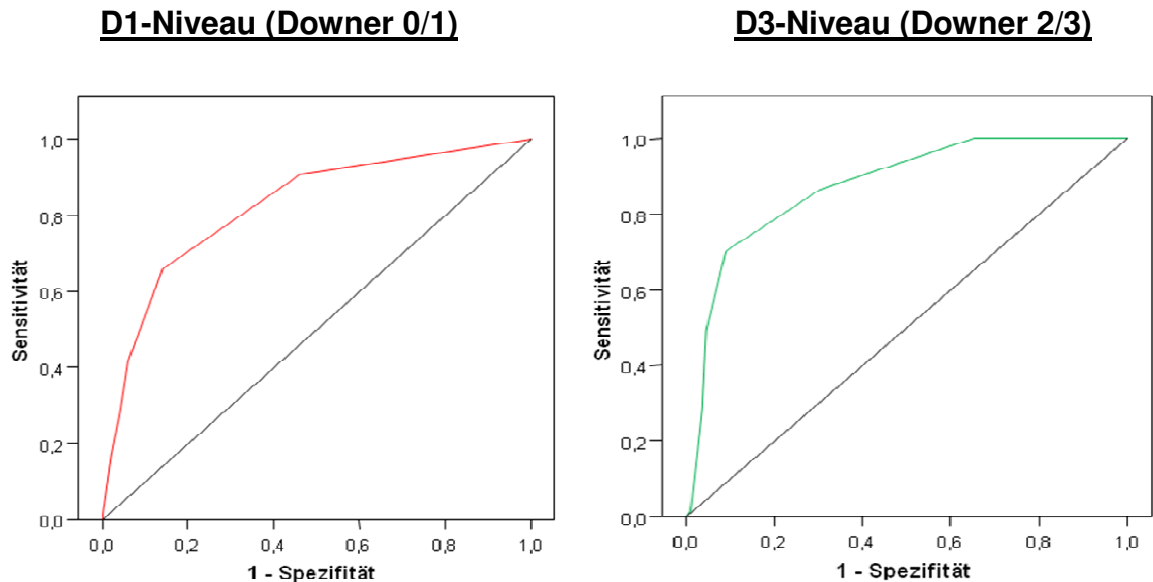


Abb. 5.3: ROC-Kurven für die visuelle Untersuchung (ICDAS, Konsens-Entscheidungen) auf D1-Niveau und D3-Niveau

Tab. 5.6: Sensitivität und Spezifität auf dem D1- und D3-Niveau für die visuelle Untersuchung

	ICDAS Trenn- punkt	AUC	95% KI	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Summe (nach King- man, 1990)
D1-Niveau*	0/1-6	0,822	0,754 - 0,890	90,7	54,0	144,7
D3-Niveau**	0-2/3-6	0,875	0,823 - 0,927	70,1	91,1	161,2
*Schmelz- und Dentinkaries (Downer 0/1-4) **Dentinkaries (Downer 0-2/3-4) KI= Konfidenzintervall						

Die Sensitivität für die visuelle Untersuchung lag für das D1-Niveau bei 90,7 % und für das D3-Niveau bei 70,1 %. Die ermittelte Spezifität betrug für das D1-Niveau 54,0 % und für das D3-Niveau 91,1 %.

### 5.6.2 Sensitivität und Spezifität der Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn

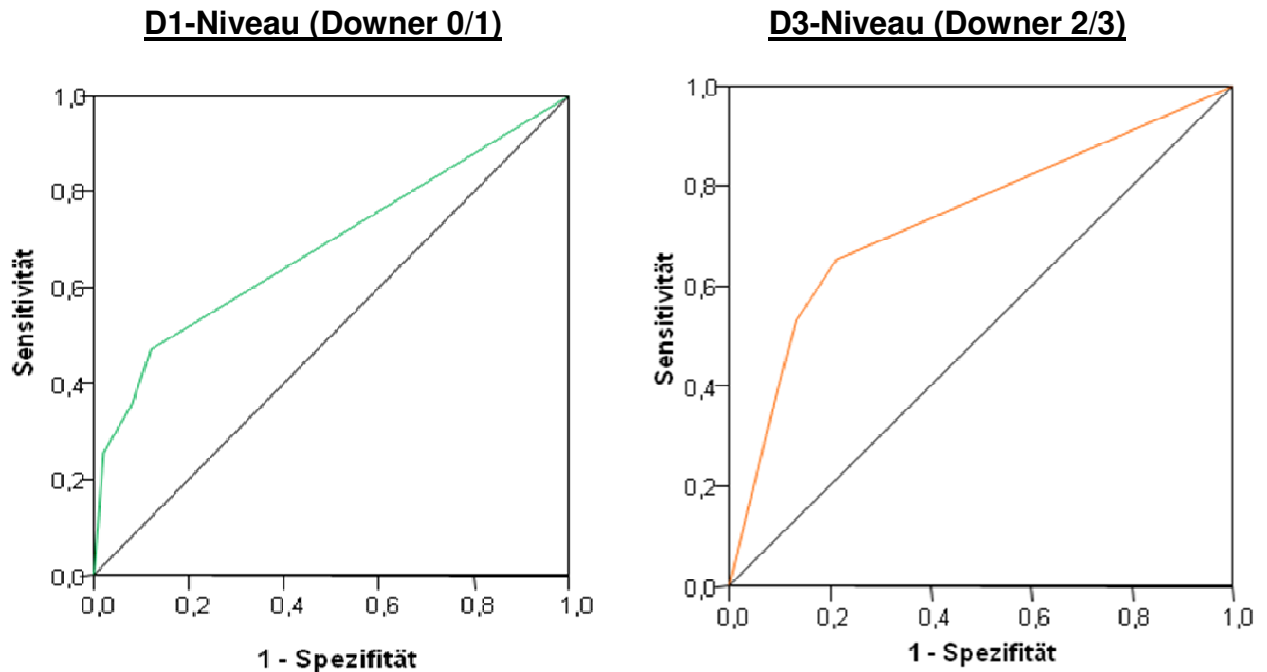


Abb. 5.4: ROC-Kurven für die Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am extrahierten Zahn auf D1-Niveau und D3-Niveau

Tabelle 5.7: Sensitivität und Spezifität auf dem D1- und D3-Niveau für die Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn

	Trenn-punkt	AUC	95% KI	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Summe (nach King-man, 1990)
D1-Niveau*	I/II-IV	0,686	0,607 - 0,764	47,3	88,0	135,3
D3-Niveau**	I-II/III-IV	0,733	0,653 - 0,813	53,0	87,0	140
*Schmelz- und Dentinkaries (Downer 0/1-4) **Dentinkaries (Downer 0-2/3-4) KI= Konfidenzintervall						

Die Sensitivität für die Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn betrug für das D1-Niveau 47,3 % und für das D3-Niveau 53,0 %. Die ermittelte Spezifität lag für das D1-Niveau bei 88,0 % und für das D3-Niveau bei 87,0 %.

## 5.7 Korrelation der visuellen Befunde und der Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten

Tab. 5.8: Kreuztabelle der visuellen Befunde und der Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) an Zahnhartschnitten

Laserfluoreszenz-Kategorien*	ICDAS-II Codes (Ergebnisse der Konsens-Entscheidungen)							n
	0	1	2	3	4	5	6	
I	26	30	14	9	4	6	1	90
II	1	4	4	-	2	1	-	12
III	3	2	4	3	2	2	-	16
IV	5	9	11	5	7	10	1	48
N	35	45	33	17	15	19	2	166
* Einteilung der Laserfluoreszenz-Messwerte: I = 0-14, II = 15-20, III = 21-30, IV = 31-99								

Bei 74,3 % der visuell als gesund eingestuften Messpunkte (ICDAS-II Code 0) zeigten die Laserfluoreszenzmessungen mittels DIAGNOdent ebenfalls eine gesunde Zahnhartsubstanz (grünes Feld). 56,6 % der Messpunkte, die visuell einen Verlust der Schmelzstruktur und/oder eine Dentinbeteiligung aufwiesen (ICDAS-II Codes 3 bis 6), zeigten bei den Laserfluoreszenzmessungen Werte über 20 (Kategorie III und IV, orange markierte Felder).

Zwischen den Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten (DIAGNOdent) und der visuellen Untersuchung ergab sich nach *Ricketts et al.* [1998] eine geringe Korrelation ( $r_s = 0,29$ ).

Tab. 5.9: Kreuztabelle der visuellen Befunde und der Laserfluoreszenz-messungen (DIAGNOdent pen) an Zahnhartschnitten

Laserfluoreszenz-Kategorien*	ICDAS-II Codes (Ergebnisse der Konsens-Entscheidungen)							n
	0	1	2	3	4	5	6	
I	26	20	10	5	1	3	-	65
II	1	6	3	2	2	3	1	18
III	1	6	2	2	2	-	-	13
IV	7	13	18	8	10	13	1	70
N	35	45	33	17	15	19	2	166
* Einteilung der Laserfluoreszenz-Messwerte: I = 0-14, II = 15-20, III = 21-30, IV = 31-99								

Tabelle 5.9 zeigt Folgendes: 74,3 % der visuell als gesund eingestuftten Messpunkte (ICDAS-II Code 0) zeigten auch bei den Laserfluoreszenz-messungen mittels DIAGNOdent pen eine gesunde Zahnhartsubstanz (grünes Feld). Bei 67,9 % der Messpunkte, die visuell einen Verlust der Schmelzstruktur und/oder eine Dentinbeteiligung aufzeigten (ICDAS-II Codes 3 bis 6), lag auch mittels der Laserfluoreszenzmessungen eine Dentinbeteiligung vor (Kategorie III und IV, orange markierte Felder).

Die visuellen Befunde und die Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent pen) zeigten eine Korrelation von  $r_s = 0,36$ . Dies entspricht nach *Ricketts et al.* [1998] einer mittleren Korrelation.

## 5.8 Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten

Tab. 5.10: Kreuztabelle der histologischen Befunde und der Laserfluoreszenzmessungen(DIAGNOdent) an den Zahnhartschnitten

Laserfluoreszenz-Kategorien*	Histologie nach Downer (Ergebnisse der Konsens-Entscheidungen)					n
	0	1	2	3	4	
I	39	16	18	15	-	88
II	1	5	2	5	-	13
III	3	1	4	7	3	18
IV	1	5	8	23	10	47
n	44	27	32	50	13	166
* Einteilung der Laserfluoreszenz-Messwerte: I = 0-14, II = 15-20, III = 21-30, IV = 31-99						

Bei 88,6 % der Präparate, die histologisch als gesund eingestuft waren (Code 0), wurde dieses Ergebnis mittels der Laserfluoreszenzmessungen am Präparat bestätigt (grünes Feld). Bei 68,3 % der Messpunkte, die histologisch eine Dentinbeteiligung aufwiesen, war der korrespondierende Laserfluoreszenz-Wert größer als 20 (Kategorie III und IV, orange markierte Felder).

Tab. 5.11: Kreuztabelle der histologischen Befunde und der Laserfluoreszenzmessungen(DIAGNOdent pen) an den Zahnhartschnitten

Laserfluoreszenz-Kategorien*	Histologie nach Downer (Ergebnisse der Konsens-Entscheidungen)					n
	0	1	2	3	4	
I	38	11	8	7	-	64
II	3	3	6	6	-	18
III	-	4	3	6	-	13
IV	3	9	15	31	13	71
n	44	27	32	50	13	166
* Einteilung der Laserfluoreszenz-Messwerte: I = 0-14, II = 15-20, III = 21-30, IV = 31-99						

Bei 86,4 % der Präparate, die histologisch als gesund eingestuft waren (Code 0), wurde dieses Ergebnis mittels den Laserfluoreszenz-Messungen bestätigt (grünes Feld). Bei 79,4 % der Messpunkte, die histologisch eine Dentinbeteiligung aufwiesen, war der korrespondierende Laserfluoreszenz-Wert größer als 20 (Kategorie III und IV, orange markierte Felder).

Die Korrelation zwischen der histologischen Kariesdiagnose und den Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten betrug  $r_s = 0,60$  und  $r_s = 0,54$ . Dies entspricht nach *Ricketts et al.* [1998] einer mittleren Korrelation.

### 5.9 Korrelation der Laserfluoreszenzmessungen am Zahn mit den Werten der Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten

Tab. 5.12: Spearmans Korrelationskoeffizienten der Laserfluoreszenzmessungen untereinander

	<b>Spearmans Korrelationskoeffizient (<math>r_s</math>)</b>
LF-Z vs. LF-H	0,50
LF-Z vs. LF-H pen	0,45
LF-H vs. LF-H pen	0,89
LF-Z = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am extrahierten Zahn LF-H = Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am Zahnhartschnitt LF-H pen= Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent pen) am Zahnhartschnitt	

Die Korrelation zwischen den Laserfluoreszenzmessungen an den Präparaten ergab mit  $r_s = 0,89$  eine hohe Korrelation. Die Korrelation zwischen den Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten und den extrahierten Zähnen ergab mit  $r_s = 0,50$  und  $r_s = 0,45$  eine mittlere Korrelation.



## **6 Diskussion**

### **6.1 Diskussion der Problemstellung**

Der Rückgang der Kariesprävalenz [Pieper, 2005; Micheelis und Schiffner, 2006] und die Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen haben zur Folge, dass die Karies nicht mehr ausschließlich auf dem Kavitationsniveau erfasst werden sollte. In der heutigen Zahnheilkunde ist es möglich, durch präventive und minimal-invasive Interventionsmöglichkeiten bereits frühe Läsionen mit geeigneten Maßnahmen zu versorgen. Daher wurde die Entwicklung verbesserter Diagnostikmethoden gefordert, die in der Lage sind, kariös bedingte Veränderungen der Zahnhartsubstanzen frühzeitig aufzudecken und Entscheidungshilfen für geeignete Therapiemaßnahmen zu geben. Im Jahr 2002 wurde auf der Basis von bisher bekannten und validierten Kariesdiagnosemethoden [Ekstrand et al., 1997; Fyffe et al., 2000a; Ekstrand et al., 2001; Chesters et al., 2002; Ricketts et al., 2002; Ekstrand et al., 2005] das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein 7-stufiges visuelles Kariesdiagnosesystem, das als eine standardisierte Methode in der Lehre, in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien eingesetzt werden soll [Pitts, 2004]. Da dieses System in bisherigen Studien [Jablonski-Momeni et al., 2008a; Jablonski-Momeni et al., 2008b] gute Ergebnisse bezüglich der Sensitivität und Spezifität sowie der Reproduzierbarkeit lieferte, war es Ziel dieser Dissertation zu überprüfen, wie die Befunde, die mit dem ICDAS-II erhoben wurden, mit den Werten von Laserfluoreszenzmessungen und der Histologie korrespondierender Zahnhartschnitte korrelieren. Zusätzlich wurde überprüft, wie Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten mit visuellen und histologischen Befunden korrelieren. Dieser Bereich stellte einen experimentellen Ansatz dar, da bisher keine Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten durchgeführt wurden.

## 6.2 Diskussion von Material und Methode

### 6.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne

In Anbetracht der Konzentrierung des Kariesbefalls auf die Okklusalfächen [Mejare et al., 1998; Hannigan et al., 2000] ist eine frühzeitige und sichere Diagnose der Fissurenkaries noch bedeutender geworden. Daher ist der Fokus dieser Studie auf solche schwierig zu beurteilenden Läsionen gerichtet. Einhundert menschliche bleibende Seitenzähne mit unterschiedlich tiefen kariösen Läsionen wurden aus einem Pool von extrahierten Zähnen ausgewählt. Um eine Austrocknung und damit verbundene Gewebeschrumpfungen zu vermeiden, wurden die Zähne feucht gelagert. Hierfür stehen verschiedene Lagerungsmedien zur Verfügung, wobei in der vorliegenden Untersuchung eine gesättigte Thymol-Lösung verwendet wurde. Dieses Lagerungsmedium verwendeten beispielsweise auch *Shi et al.* [2000], *Francescut und Lussi* [2003] sowie *Côrtés et al.* [2003]. Andere Lagerungsmöglichkeiten sind Alkohol, Formalin, Chloramin oder Wasser [Bader und Shugars, 2004; Francescut et al., 2006].

Der Einfluss des Lagerungsmediums auf das Fluoreszenzverhalten extrahierter Zähne wurde in verschiedenen Studien überprüft. *Burin et al.* [2005] zeigten, dass bereits eine 24-stündige Lagerung von extrahierten Zähnen in Natriumhypochlorit (NaOCl) eine signifikante Reduktion der Laserfluoreszenz-Werte zur Folge hat. *Francescut et al.* [2006] überprüften den Einfluss verschiedener Lagerungsmethoden (Thymol, Formalin, Chloramin sowie Einfrieren bei -20°C ohne zusätzliche Lösungen) auf die Entwicklung von Laserfluoreszenz-Werten. Bereits nach wenigen Tagen zeigten sich für die in Thymol, Formalin und Chloramin gelagerten Zähne signifikante Abnahmen der Fluoreszenz-Werte. Einzig in der Gruppe der eingefrorenen Zähne veränderten sich die Laserfluoreszenz-Werte nicht. Dies wurde damit erklärt, dass Fluorophore, d.h. die Produkte, die fluoreszieren, in Lösung gehen oder ihre chemische Struktur verändern. Somit nimmt die Fluoreszenz im Laufe der Lagerungszeit ab. Dieser Sachverhalt erklärt möglicherweise die nur geringen bis mittleren

Korrelationen zwischen der histologischen Untersuchung und den Laserfluoreszenzmessungen, die in der vorliegenden Studie ermittelt wurden.

### **6.2.2 Visuelle Untersuchung**

Die visuelle Untersuchung stellt auch heute noch die Basis für eine systematische Kariesdiagnose dar und ist im zahnärztlichen Alltag unumgänglich. Aber auch für epidemiologische Studien erscheint die visuelle Inspektion geeigneter als beispielsweise das Laserfluoreszenzverfahren [Sheehy et al., 2001]. Dies gilt allerdings nur, wenn ein System für die klinische Kariesdiagnose verwendet wird, das einerseits kariöse Läsionen bereits im frühen Stadium erfasst und andererseits dem Praktiker die Entscheidungsgrundlage für geeignete Therapiemaßnahmen liefert. In Reihenuntersuchungen erfolgt die klinische Kariesdiagnose üblicherweise nach dem WHO-Standard, d.h., Läsionen werden auf Kavitäts-Niveau registriert. Nach Definition der WHO [1997] liegt eine behandlungsbedürftige Karies (D3-Niveau) dann vor, wenn freiliegendes Dentin sichtbar oder unterminierter Schmelz mit erweichten Schmelzrändern tastbar ist. Allerdings ist diese Form der Karies stark rückläufig. Daher werden differenziertere Indizes benötigt, mit denen sich auch Schmelzläsionen erfassen lassen.

In der vorliegenden Studie wurde als visuelles Kariesdiagnosesverfahren das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) gewählt. Dieses umfasst für die Diagnose der okklusalen Karies sieben Stufen (Code 0-6). Für die Schmelzkaries sind zwei Kategorien vorgesehen (ICDAS-II Codes 1 und 2). Die Dentinkaries ist im ICDAS-II mit den Codes 3 bis 6 abgebildet. Aufgrund dieser verfeinerten Diagnosekriterien ist es möglich, mit dem Verfahren kariöse Läsionen zu erfassen, die unterschätzt werden, wenn ausschließlich die Kavitation als Zeichen einer Karies herangezogen wird [Goddon et al., 2008; Kühnisch et al., 2008]. Somit können remineralisierende und minimal-invasive Maßnahmen frühzeitig eingesetzt werden, um der Entstehung von manifesten Dentinläsionen weitgehend vorzubeugen.

### 6.2.3 Laserfluoreszenzmessungen

Das Laserfluoreszenzgerät DIAGNOdent (KaVo, Biberach) wurde 1998 auf dem Markt eingeführt. Das Haupteinsatzgebiet dieses Gerätes liegt in der Detektion und quantitativen Beurteilung kariöser Läsionen in Grübchen und Fissuren. Die Weiterentwicklung stellt das DIAGNOdent pen dar, das seit 2005 auf dem Markt erhältlich ist und über eine zusätzliche Sonde zur Untersuchung der Approximalräume verfügt.

Laserfluoreszenzmessungen haben sich im Rahmen des „Kariesmonitoring“ wiederholt als gutes Instrument zur Verlaufskontrolle bewährt [Alwas-Danowska et al., 2002; Lussi, 1999]. Das Ziel des Kariesmonitoring besteht in erster Linie darin, durch die Anwendung geeigneter präventiver Maßnahmen den kariösen Prozess zu arretieren und somit eine restaurative Maßnahme zu vermeiden [Kühnisch et al., 2007c]. Dabei ist eine detaillierte Dokumentation der registrierten Befunde notwendig. Die Anwendung des DIAGNOdent für das Monitoring wird sowohl im Milchgebiss als auch für das bleibende Gebiss empfohlen [Anttonen et al., 2004]. Weiter ist es möglich, durch den Vergleich von aufeinander folgenden Messungen innerhalb einiger Zeit Rückschlüsse auf die Kariesaktivität zu ziehen und Hinweise auf den Erfolg einer Intensivprophylaxe zu erhalten [Lussi, 1999]. Als nachteilig geben *Bader und Shugars* [2004] jedoch an, dass die Anwendung des DIAGNOdent in der Detektion von Schmelzkaries weniger sensitiv ist als bei der Detektion von Dentinkaries. Dadurch besteht bei einer geringen Kariesprävalenz auf Populationsebene das Risiko, falsch positive Diagnosen zu stellen, die zu einer Überversorgung der Zähne führen können [Heinrich-Weltzien et al., 2003; Bader und Shugars, 2004]. Insgesamt wird empfohlen, das DIAGNOdent als ergänzendes Hilfsmittel neben der visuellen Inspektion in der zahnärztlichen Praxis einzusetzen. Daher wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Untersuchungen durchgeführt, um die Korrelationen der ICDAS-II Codes mit den Werten von Laserfluoreszenzmessungen zu überprüfen. Die ermittelte Korrelation zwischen den ICDAS-II Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen lag dabei mit  $r_s = 0,52$  im mittleren Bereich.

### 6.2.4 Schwellenwerte für die Laserfluoreszenzmessungen

In unserer Studie wurden die gemessenen DIAGNOdent Scores, wie bereits in Kapitel 4 (Tab. 4.5) dargestellt, in vier Kategorien (I-IV) eingeteilt. Diese Einteilung wird vom Hersteller für den Praxisgebrauch empfohlen und beruht auf den Resultaten einer von *Lussi et al.* [2000] veröffentlichten Studie. Demzufolge liegt für In-vivo durchgeführte Laserfluoreszenzmessungen die Schwelle für eine Dentinkaries bei Messwerten  $>20$ . Dies wurde auch von anderen Autoren bestätigt [Alwas-Danowska et al., 2002]. In einer früheren Studie definierten *Lussi et al.* [1999] Grenzwerte für In-vitro durchgeführte laserbasierte Untersuchungen. Diese Grenzwerte waren wie folgt: DIAGNOdent-Werte von 0-4 bedeuten keine Karies oder Karies in der ersten Schmelzhälfte (D1), Werte von 5-10 weisen auf eine Schmelzkaries (D2) hin, Werte von 11-18 bedeuten eine Dentinkaries bis zur äußeren Hälfte des Dentins (D3) und Werte  $>18$  zeigen Karies, die auf die innere Hälfte des Dentins extendiert ist (D4). In einer Studie von *Angnes et al.* [2005] korrelierten Laserfluoreszenz-Werte von  $>19$  mit einer Dentinkaries. In anderen Studien wurden die optimalen Schwellenwerte wie folgt definiert: Werte von 8-14 wiesen auf eine Karies bis in die erste Schmelzhälfte hin (D1), DIAGNOdent-Werte zwischen 15 und 24 zeigen eine Karies, die auf die zweite Schmelzhälfte extendiert ist (D2) und Werte  $>24$  bedeuten eine Dentinkaries (D3, D4) [Lussi und Hellwig, 2006]. Für das DIAGNOdent pen legen *Lussi und Hellwig* [2006] die Schwelle für eine Dentinkaries bei einem Messwert  $>17$  fest. *Huth et al.* [2008] legen folgende klinische Schwellenwerte fest: DIAGNOdent pen-Werte von 0-12 bedeuten keine Karies (D0), Werte von 13-25 weisen auf eine Schmelzkaries (D1, D2) hin und Werte  $>25$  bedeuten eine Dentinkaries.

Bei der Auswahl eines geeigneten Schwellenwertes ist zunächst zu klären, was es bedeutet, einen hohen bzw. niedrigen Schwellenwert auszuwählen. Ein niedriger Schwellenwert bedeutet, dass fast alle kariösen Zähne als krank erkannt werden (hohe Sensitivität). Dabei werden allerdings auch viele gesunde Zähne fälschlicherweise als krank klassifiziert (geringe Spezifität). Im Gegensatz dazu bedeutet ein hoher Schwellenwert, dass fast

alle gesunden Zähne als gesund erkannt werden (hohe Spezifität), allerdings viele kariöse Zähne fälschlicherweise als gesund eingestuft (geringe Sensitivität) werden. Werden demzufolge niedrigere Schwellenwerte gewählt, ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, falsch positive Diagnosen zu erhalten. In der praktischen Konsequenz hieße das, dass viele gesunde Zähne irrtümlicherweise behandelt würden. Um dies zu vermeiden, sollte gerade in Populationen mit geringem Kariesrisiko ein hoher Schwellenwert verwendet werden [Fung et al., 2004]. Überdies stellen höhere Schwellenwerte einen Sicherheitsfaktor bei verfärbten Fissuren dar.

Aufgrund der Unübersichtlichkeit der vielen definierten Schwellenwerte wurde in dieser Studie die vom Hersteller empfohlene Einteilung gewählt, die zugleich die Therapieform mitberücksichtigt. Bei der Diskussion der Schwellenwerte sollte jedoch berücksichtigt werden, dass diese grundsätzlich immer nur zur Orientierung dienen. Die Entscheidung für eine restaurative Versorgung darf nicht allein von einem bestimmten Wert abhängig gemacht werden. Weitere Faktoren, u.a. die Kariesaktivität des Patienten, Fluoridanamnese und Ernährungsgewohnheiten sind zu berücksichtigen.

### 6.2.5 Herstellung der Zahnhartschnitte

In vielen Studien, in denen die Histologie als Goldstandard dient, wurden die zu untersuchenden Zähne halbiert, wie z.B. bei *Ekstrand et al.* [1997] oder *Angnes et al.* [2005]. Aufwändiger dagegen ist die Herstellung von Serienschnitten, die eine Dicke zwischen 250-1000 µm aufweisen können. *Souza-Zaroni et al.* [2001] fertigten beispielsweise Schnitte mit einer Dicke von ca. 250 µm an, während bei *Pereira et al.* [2001] die Proben mit einem Mikrotom in bukkolingualer Schnittrichtung in 200-300 µm dicke Scheiben geschnitten wurden. In der vorliegenden Studie wurden die extrahierten Zähne nach dem von *Stachniss* [2005] veröffentlichten Protokoll aufbereitet (Tab. 4.6). Die Molaren wurden mit einem 200 µm dicken Diamantband (Exakt, Hamburg) in einer Schrittweite von 750 µm ( $\pm 30$  µm) und die

Prämolaren mit einem 100 µm dicken Diamantband in einer Schrittweite von 500 µm ( $\pm 30$  µm) geschnitten.

Bei der Herstellung von Zahnhartschnitten besteht grundsätzlich die Gefahr, dass die zu untersuchende Zahnfläche nicht korrekt getroffen wird und es so zu Fehleinschätzungen kommt. Bei der einfachen Hemisektion eines Zahnes durch die kariöse Läsion kann beispielweise nicht sichergestellt werden, ob der tiefste Punkt der Kariesausdehnung angeschnitten ist. Der Grund hierfür liegt in der komplexen Morphologie der Fissuren und der dreidimensionalen Ausbreitung einer Karies. Eine Läsion, die ihren Ursprung von einer bestimmten Stelle der Okklusalfäche nimmt, kann sich schräg und unsymmetrisch unter der Zahnoberfläche ausbreiten. Um in der vorliegenden Studie für jeden Messpunkt die tiefste Ausdehnung der Karies bestimmen zu können, wurden Serienschnitte hergestellt. Dabei konnten jedem Messpunkt zwischen einem und vier Schnitte zugeordnet werden. Registriert wurde für jeden Messpunkt der höchste Score innerhalb der entsprechenden Schnitte. Mit Hilfe eines eingebetteten Messdreiecks konnte sichergestellt werden, dass auch genau die histologischen Schnitte beurteilt wurden, die im Bereich der zu befundenden Messpunkte lagen (Abb. 4.5). Durch diese präzise Herstellung der Zahnhartschnitte wurde einerseits gewährleistet, dass die zu untersuchenden Zahnhartschnitte mit hoher Verlässlichkeit den visuellen Messpunkten zugeordnet werden konnten, und andererseits, dass für jeden Messpunkt die tiefste Kariesausdehnung registriert wurde.

#### **6.2.6. Diskussion des Goldstandards Histologie**

Jedes Verfahren zur Kariesdiagnose sollte im Idealfall in der Lage sein, eine Erkrankung der Zahnhartsubstanz korrekt auszuschließen bzw. nachzuweisen. Diese Anforderung kann in der Regel kein diagnostisches Verfahren alleine erfüllen. Um einen diagnostischen Test auf seine Richtigkeit zu überprüfen, ist es erforderlich, das System zu validieren. Dies erfolgt auf der Basis eines sogenannten „Goldstandards“. Bei der Anwendung von Methoden zur Validierung der Karies können allerdings

seitens des Untersuchers subjektive Schwankungen auftreten [Wenzel et al., 2004]. Um die Untersucherabhängigkeit einzugrenzen, werden deshalb immer wieder neue Verfahren entwickelt, mit denen sich die Ausdehnung der Zahnkaries an Zahnhartschnitten quantifizieren lässt. Als Beispiele können die Mikroradiographie oder das Rastern mit einem fokussierten Laserstrahl (Konfokale Laser Scanning Mikroskopie, CLSM) genannt werden [Hintze et al., 1995; Banerjee und Boyde, 1998; Ricketts et al., 1998].

In der vorliegenden Studie diente die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten als Goldstandard. Diese Methode stellt das bei weitem gängigste Verfahren in der Kariesdiagnose dar [Huysmans und Longbottom, 2004] und wird bereits seit den Anfängen diagnostischer Forschungen angewandt [Downer, 1975]. Beurteilt werden bei der mikroskopischen Evaluierung von Zahnhartschnitten optische Veränderungen, die als Opazitäten oder Verfärbungen erscheinen. Als eine geeignete Methode gilt hierbei die Untersuchung der Zahnhartschnitte unter einem Stereomikroskop [Hintze et al., 1995]. Da die Zahnkaries als eine „mikroskopische“ Läsion beginnt, ist es sinnvoll, auch die Mikroskopie für die Beurteilung der Ausdehnung der Läsion anzuwenden [Burket, 1941]. Ein weiterer Vorteil der histologischen Beurteilung besteht darin, dass von den Zahnhartschnitten digitale Bilder hergestellt werden können. Diese können dann beispielweise in Multi Center Studien eingesetzt werden [Jablonski-Momeni et al., 2009].

### **6.2.7 Studiendesign**

Das Studiendesign sollte im Idealfall in einen ersten klinisch diagnostischen Teil (in vivo) und einen zweiten histologischen Teil (in vitro) gegliedert werden [Pitts, 2001]. Bei diesem Vorgehen bestehen allerdings hinsichtlich der Patientenrekrutierung und -auswahl Schwierigkeiten. Aus ethischer Sicht ist zu hinterfragen, unter welchen Umständen es erlaubt ist, Zähne nach ihrer diagnostischen Untersuchung zu extrahieren, um diese histologisch zu validieren. Daher wurde das klassische Design einer



Laborstudie, in der der diagnostische und histologische Teil in vitro durchgeführt wird, gewählt. Dabei wurde versucht, den diagnostischen Teil der Studie der klinischen Situation so weit wie möglich anzupassen. Faktoren wie das Alter des Patienten, das allgemeine Kariesrisiko oder die Sozialanamnese, welche die Diagnose- und Therapieentscheidung entscheidend mitbeeinflussen, konnten allerdings nicht berücksichtigt werden. Gleiches gilt für experimentelle Faktoren, wie z.B. der Einfluss des Lagerungsmediums auf das Fluoreszenzverhalten extrahierter Zähne (siehe Kapitel 6.2.1). Somit können nicht alle Ergebnisse auf eine In-vivo-Situation übertragen werden. Zur Validierung von Material und Methode ist es jedoch sinnvoll, im Vorfeld einer In-vivo-Untersuchung In-vitro-Untersuchungen durchzuführen. Somit können weiterführende klinische Studien effizienter und medizinisch aussagekräftiger gestaltet werden.

### **6.3 Diskussion der Ergebnisse**

#### **6.3.1 Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen**

Die Reproduzierbarkeit von Untersuchungen ist ein wesentlicher Faktor, der darüber Auskunft gibt, wie konstant einzelne Untersucher ein Diagnoseverfahren einsetzen können und wie beständig die Befunde bei der Beteiligung von mehreren Untersuchern erhoben werden. Um in der vorliegenden Studie die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit der Lasergeräte bestimmen zu können, wurden nach einer Woche 30 % der Messpunkte erneut untersucht. Um mit bereits publizierten Studien vergleichbar zu sein, wurden sowohl die einfachen als auch die gewichteten Kappa-Werte berechnet. Zusätzlich wurde der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient ermittelt.

Aus den Untersuchungen ging Folgendes hervor: Die ermittelten einfachen Intra-Untersucher Kappa-Werte lagen bei 0,77 für das DIAGNOdent bzw. bei 0,87 für das DIAGNOdent pen und waren somit im substantiellen bis fast perfekten Bereich (Tab. 5.2). Die gewichteten Kappa-Werte lagen für beide Geräte im fast perfekten Bereich (0,90 und 0,94). Für die

laserunterstützte Bestimmung der Läsionstiefe an den extrahierten Zähnen lag sowohl der einfache als auch der gewichtete Intra-Untersucher Kappa-Wert im substantiellen Bereich (0,66 und 0,80). Der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient lag in der Größenordnung einer hohen Korrelation (0,828, 0,957, 0,988) [Ricketts et al., 1998]. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass beide Geräte eine gute Konstanz aufweisen und dass die Verfahren reproduzierbar angewendet werden können. Untersucher, die mit den Laserfluoreszenzgeräten keine Erfahrungen haben, sind in der Lage, diese Methode in relativ kurzer Zeit anzuwenden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Handhabungsvorschriften, wie die Eichung am Keramikstandard, die Bestimmung der Eigenfluoreszenz einer gesunden Zahnfläche oder die konsequente Rotation der Sondenspitze um die Längsachse während des Messvorganges, befolgt werden.

Die vorliegenden Daten der Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit und des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten finden sich grundsätzlich in Übereinstimmung mit Ergebnissen aus früheren Untersuchungen. *Lussi et al.* [1999] ermittelten Kappa-Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,66 und 0,97. An der Studie waren 11 Untersucher beteiligt, die 83 extrahierte Zähne untersuchten. Es wurde nicht erwähnt, ob es sich um einfache oder gewichtete Kappa-Werte handelte. Auch in-vivo zeigte das DIAGNOdent mit einem Kappa-Wert von 0,90 eine hohe Reproduzierbarkeit [Lussi, 2000]. Für das gleiche Gerät konnten *Heinrich-Weltzien et al.* [2003] eine Untersucherkonstanz von  $\kappa = 0,89$  ermitteln. Auch hier ist unklar, ob es sich um einfache oder gewichtete Kappa-Werte handelt. Die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit des DIAGNOdent pen wurde in einer Studie von *Kühnisch et al.* [2007c] untersucht und mit Hilfe des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten angegeben. Dieser lag zwischen 0,84 und 0,92. Somit konnte auch für das DIAGNOdent pen eine gute Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweituntersuchung nachgewiesen werden.

Da die Laserfluoreszenzmessungen in der vorliegenden Studie nur von einer Untersucherin durchgeführt wurden, konnten im vorliegenden Fall keine Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeiten ermittelt werden. In vielen

Studien wird, je nach angewandeter statistischer Methode (Kappa-Statistik oder Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten), über gute bis sehr gute Reproduzierbarkeiten zwischen verschiedenen Untersuchern berichtet. Diese Ergebnisse wurden sowohl in-vitro [Lussi et al., 1999; Kühnisch et al., 2004; Reis et al., 2004] als auch in-vivo erzielt [Alwas-Danowska et al., 2002; Tranaeus et al., 2005]. Im Vergleich zu den erwähnten Studien ermittelten *Angnes et al.* [2005] jedoch nur einen moderaten einfachen Kappa-Wert von 0,53. Auch *Souza-Zaroni et al.* [2006] ermittelten nur ausreichende bis moderate Kappa-Werte (0,28-0,46) für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit von Laserfluoreszenzmessungen. Diese Abweichungen zu den berichteten Studien kommen möglicherweise durch die unterschiedlichen Kalibrierungsmethoden und -zeiten zustande. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass die Studie von *Souza-Zaroni et al.* [2006] von acht Untersuchern mit unterschiedlicher Berufserfahrung durchgeführt wurde.

Insgesamt ermöglicht die gute Reproduzierbarkeit des DIAGNOdent und DIAGNOdent pen, die Geräte zur Kariesverlaufskontrolle anzuwenden und dadurch Hinweise auf den Erfolg einer Intensivprophylaxe zu erhalten. Somit kann durch die Anwendung geeigneter präventiver Maßnahmen versucht werden, den kariösen Prozess zu arretieren und eine restaurative Maßnahme zu vermeiden. Ferner sollte es möglich sein, durch den Vergleich von aufeinander folgenden Messungen innerhalb einiger Monate Rückschlüsse auf die Kariesaktivität zu ziehen.

### **6.3.2 Korrelationen der visuellen und histologischen Befunde**

In der vorliegenden Studie wurden zur Beschreibung der Größe des Korrelationskoeffizienten ( $r_s$ ) folgende Abstufungen nach *Ricketts et al.* [1998] herangezogen: Ein Wert zwischen 0 und 0,3 entspricht einer geringen, ein Wert zwischen 0,3 und 0,7 einer moderaten und ein Wert zwischen 0,7 und 1,0 einer hohen Korrelation. Diese Einteilung erschien auch für unsere Studie geeignet. Eine weitere gängige Einteilung ist die nach *Cohen* [1968]. Demnach entsprechen ein Wert zwischen 0 und 0,3

einer geringen, ein Wert zwischen 0,3 und 0,5 einer mittleren und ein Wert zwischen 0,5 und 1,0 einer hohen Korrelation.

Zwischen den visuellen und histologischen Befunden zeigte sich eine Korrelationen von  $r_s = 0,70$ . Im Vergleich dazu zeigte das 5-stufige visuelle Diagnosesystem von *Ekstrand et al.* [1997], das ebenfalls bereits erste Veränderungen in den Fissuren und Grübchen erfasst und als ein Vorläufer des ICDAS gilt, eine Korrelationen zwischen 0,87 und 0,93. Hierbei ist kritisch anzumerken, dass die histologische Klassifikation von der Arbeitsgruppe um *Ekstrand* entwickelt bzw. modifiziert wurde und dementsprechend auf die visuellen Scores abgestimmt war. Eine ähnlich hohe Korrelation ( $r_s = 0,87$ ) zwischen visueller und stereomikroskopischer Untersuchung ermittelten *Ekstrand et al.* [1995] für ein 8-stufiges System. Dabei zeigte sich folgender Trend: White-Spot-Läsionen, die auf der feuchten Zahnoberfläche kaum, auf der luftgetrockneten Zahnoberfläche hingegen deutlich sichtbar sind, waren histologisch überwiegend auf die erste Schmelzhälfte beschränkt, während weißliche oder bräunliche Verfärbungen, die sich auf der feuchten Zahnoberfläche diagnostizieren lassen, auf die innere Schmelzhälfte oder bis zum äußeren Drittel des Dentins ausgedehnt waren. Durch Karies bedingte Schmelzeinbrüche sowie Läsionen, die mit gräulicher, bräunlicher oder bläulicher Schattenbildung im Dentin verknüpft waren, korrelierten mit einer Ausdehnung bis ins mittlere Dentindrittel, während offene Dentinläsionen histologisch ein Ausmaß bis ins innere Dentindrittel aufwiesen. Diese Beobachtungen wurden auch durch die Ergebnisse dieser Dissertation bestätigt (Tab. 5.4).

### **6.3.3 Korrelationen zwischen den visuellen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen**

Der Spearman Korrelationskoeffizient ( $r_s$ ) zwischen den visuellen Befunden (ICDAS-II) und den Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen betrug 0,52. Dies entspricht einer mittleren Korrelation. Eine geringe Korrelation von  $r_s = 0,29$  und  $r_s = 0,36$  konnte für die Laser-

fluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten verzeichnet werden. Sowohl bei den Laserfluoreszenzuntersuchungen an den extrahierten Zähnen als auch bei den Untersuchungen an den Zahnhartschnitten fielen einige Messpunkte mit hohen ICDAS-II Scores nur in die Kategorie I und wurden somit als gesund eingestuft (Tab. 5.1, 5.8, 5.9). In diesen Fällen könnte es durch die Lagerung in Thymol-Lösung zu Veränderungen der Fluoreszenz gekommen sein. Möglicherweise führt auch die Bearbeitung der Zahnhartschnitte (z.B. Politur, Eindecken der Präparate) zur Abnahme der Fluoreszenz.

Obwohl in vielen Studien visuelle Befunde mit Laserfluoreszenzmessungen verglichen wurden, sind bisher selten Korrelationen zwischen diesen beiden Verfahren berechnet worden. Dies könnte damit zusammenhängen, dass entsprechende Publikationen nicht primär auf eine Validierung visueller Diagnosemethoden abzielten, sondern das DIAGNOdent Gerät überprüften. *Sheehy et al.* [2001] untersuchten in einer In-vivo-Studie die Übereinstimmung zwischen visuellen Befunden und Laserfluoreszenzmessungen. Je nach verwendetem DIAGNOdent-Schwellenwert lag die Übereinstimmung zwischen 48 % und 78 %. Diese Zahlen entsprechen in etwa den Ergebnissen der vorliegenden Studie (Tab. 5.1, 5.8, 5.9).

#### **6.3.4 Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen**

Die Korrelation zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten lag im mittleren Bereich ( $r_s = 0,60$  und  $r_s = 0,54$ ). Eine geringere Korrelation von  $r_s = 0,41$  konnte für die Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen berechnet werden. Der im Vergleich niedrigere Korrelationskoeffizient für die Messungen an den extrahierten Zähnen könnte damit zusammenhängen, dass das emittierte Fluoreszenzlicht bei den Messungen am Zahnhartschnitt einen kürzeren Weg zurücklegen muss, bevor es die Detektionssonde erreicht. Bei den Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn ist diese Distanz länger. Somit ist die Wahrscheinlichkeit

erhöht, dass Photonen entweder zerstreut oder vom umliegenden Schmelz oder Dentin absorbiert werden [Alwas-Danowska et al., 2002].

In der Literatur sind Angaben zur Korrelation zwischen Fluoreszenzmessungen und anderen Methoden zur Kariesdiagnostik kaum aufgeführt. *Gmür et al.* [2006] untersuchten beispielsweise die Zusammenhänge zwischen quantitativer lichtindizierter Fluoreszenz (QLF) und transversaler Mikroradiographie (TMR). Hierbei konnte eine Korrelation von  $r = 0,82$  ermittelt werden.

### **6.3.5 Korrelation zwischen dem DIAGNOdent und DIAGNOdent pen**

Die Korrelation zwischen den Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten mit dem DIAGNOdent und dem DIAGNOdent pen betrug  $r_s = 0,89$ . Dies entspricht nach *Ricketts et al.* [1998] einer hohen Korrelation. Auch *Lussi und Hellwig* [2006] konnten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem DIAGNOdent pen und dem klassischen DIAGNOdent feststellen. Somit ist es möglich, sowohl mit dem DIAGNOdent als auch mit dem DIAGNOdent pen ähnliche Ergebnisse zu erzielen. Dies ist gerade dann von Bedeutung, wenn in einer Praxis mehrere Geräte zur Verfügung stehen oder ein Gerät ersetzt werden muss. Im Gegensatz dazu beobachteten *Pereira et al.* [2001] jedoch eine nicht unerhebliche Gerätevariabilität. Der Vergleich zwischen zwei DIAGNOdent Geräten zeigte, dass ein neueres Gerät signifikant niedrigere Messwerte anzeigt als ein älteres Gerät.

### **6.3.6 Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries mittels histologischer Untersuchung**

In der vorliegenden Studie wurden die Sensitivitäts- und Spezifitäts-Werte am Goldstandard Histologie (*Downer-Klassifikation*) überprüft und auf dem D1- und D3-Niveau berechnet. Hierbei ergab sich für die visuelle Inspektion auf dem D1-Niveau eine Sensitivität von 90,7 % und auf dem D3-Niveau von 70,1 %. Die ermittelte Spezifität lag für das D1-Niveau bei 54 % und für das D3-Niveau bei 91,1 %. Diese Ergebnisse sind nur teilweise mit den

Werten anderer visueller Diagnosesysteme vergleichbar. Beispielsweise lag für die 8-stufige visuelle Diagnose-Skala „Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM)“ die Sensitivität auf dem D1-Niveau zwischen 0,46 und 0,5 und hinsichtlich der Erfassung der Dentinkaries zwischen 0,04 und 0,17 [Fyffe et al., 2000b]. Die Spezifität des DSTM lag zwischen 0,66 und 0,86 auf D1-Niveau und zwischen 0,98 und 0,99 für Dentinläsionen. Hier erreichen Sensitivität und Spezifität in der Summe nicht annähernd den von *Kingman* [1990] geforderten Wert. Für das fünfstufige visuelle System nach *Ekstrand et al.* [1997] wurde eine mittlere Sensitivität von 95,3 % und eine mittlere Spezifität von 90,3 % ermittelt. Somit wird in der Summe der von *Kingman* [1990] geforderte Wert von 160 deutlich überschritten. Dies lässt sich möglicherweise damit erklären, dass die Studie von *Ekstrand et al.* [1997] von drei erfahrenen Kariologen durchgeführt wurde. Die verwendeten visuellen Scores waren auf der Basis einer früheren Publikation des Erstautors [Ekstrand et al., 1995] modifiziert worden und die histologische Einteilung korrelierte sehr gut mit der visuellen Skala. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass eine höhere Sensitivität meist nur mit einer niedrigeren Spezifität erkaufte wird und umgekehrt [Schwarzer et al., 2002]. *Downer* [1989] zeigte in einer Übersichtsarbeit, dass erfahrene Untersucher bei der Anwendung von visuellen Kariesdiagnoseverfahren auf dem Niveau der Dentinkaries in der Regel mit einer Sensitivität von 0,60 und einer Spezifität von 0,80 untersuchen. Diese Werte konnten durch die Ergebnisse unserer Studie bestätigt werden.

### **6.3.7 Sensitivität und Spezifität der Laserfluoreszenzmessungen zur Diagnose der Fissurenkaries**

Für die Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn konnte auf dem D1-Niveau eine Sensitivität von 47,3 % und eine Spezifität von 88 % berechnet werden. Auf dem D3-Niveau wurde mit 87 % eine hohe Spezifität ermittelt, während die Sensitivitäts-Werte mit 53 % richtig erkannter Dentinläsionen Defizite aufzeigten. Damit würde fast die Hälfte aller

Läsionen mit einer Dentinbeteiligung nicht erkannt werden und demzufolge eine therapeutische Intervention unterbleiben, wenn ausschließlich die Laserfluoreszenz als Diagnosemethode herangezogen würde. Weiter war auffällig, dass der von *Kingman* [1990] geforderte Wert einer summarischen Sensitivität und Spezifität von 160 nicht erreicht wurde. Dieser Wert wird vorgeschlagen, um eine Methode für den klinischen Einsatz zu empfehlen. Unabhängig von den insgesamt nicht zufrieden stellenden Güteparametern sind jedoch die hohen Spezifitäts-Werte als positiv zu beurteilen, da damit eine Übertherapie („Over-Treatment“) weitestgehend minimiert würde.

Die in der Literatur angegebenen Sensitivitäten und Spezifitäten für Laserfluoreszenzmessungen variieren sehr stark und lassen sich deshalb nur teilweise mit unseren Werten vergleichen. *Lussi et al.* [1999] ermittelten beispielweise für DIAGNOdent-Messungen an 105 extrahierten Zähnen auf dem D3-Niveau ähnliche Spezifitäts-Werte (0,79-0,87), aber höhere Sensitivitäts-Werte (0,76-0,84). Für das gleiche Gerät geben *Alwas-Danowska et al.* [2002] Sensitivitäten zwischen 0,93 und 1,0 und Spezifitäten zwischen 0,47 und 0,59 an. *Pereira et al.* [2001] wiederum ermittelten auf dem D3-Niveau Sensitivitäts-Werte von 0,19 und Spezifitäts-Werte von 0,98. Für das DIAGNOdent pen konnte auf dem D3-Niveau eine Sensitivität zwischen 0,81 und 0,82 sowie eine Spezifität zwischen 0,89 und 0,92 angegeben werden [Lussi et al., 2006]. Diese Werte beziehen sich allerdings auf die Diagnose der Approximalkaries.

Die Ursache für diese breite Spanne zwischen den Sensitivitäten und Spezifitäten liegt möglicherweise in der bereits genannten Problematik der Auswahl eines geeigneten Schwellenwerts. Um für jeden Schwellenwert Kombinationen der Sensitivität und Spezifität berechnen zu können, wurde in unserer Studie zusätzlich die Fläche unter der ROC Kurve (Area under the curve) berechnet. Somit konnte ein einziger, die Testgüte beschreibender Parameter bestimmt werden. Dieser betrug für die Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen auf dem D1-Niveau 0,69 bzw. auf dem D3-Niveau 0,73. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch *Pereira et al.* [2001]. In deren Studie betrug die AUC für die Laserfluoreszenzmessungen an extrahierten Zähnen 0,65. Bessere AUC-



Werte ermittelten *Côrtes et al.* [2003] mit 0,81 und *Alwas-Danowska et al.* [2002] mit 0,82.

#### 6.4 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie wurde überprüft, wie die Befunde, die mit dem ICDAS-II erhoben wurden, mit den Werten von Laserfluoreszenzmessungen und der Histologie korrespondierender Zahnhartschnitte korrelieren. Zusätzlich sollte die Frage beantwortet werden, wie Laserfluoreszenzmessungen an Zahnhartschnitten mit visuellen und histologischen Befunden korrelieren.

Der Vergleich zwischen der visuellen Kariesdiagnose und den laserbasierten Untersuchungen zeigte folgendes: Der Spearman Korrelationskoeffizient ( $r_s$ ) fiel in die mittlere Kategorie ( $r_s = 0,52$ ). Eine höhere Korrelation konnte zwischen den visuellen und den histologischen Befunden festgestellt werden ( $r_s = 0,7$ ). Vor diesem Hintergrund erscheint es richtig, verstärkt differenzierte visuelle Klassifizierungssysteme, wie das ICDAS-II, in die zahnärztliche Aus- und Weiterbildung aufzunehmen. Die von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a; 2008b] beschriebenen guten Ergebnisse bezüglich der Reproduzierbarkeit und diagnostischen Aussagekraft bestätigen letztlich diesen Ansatz. Auch im Hinblick auf die gegenwärtig noch nicht zufrieden stellende Güte anderer ergänzender diagnostischer Verfahren gewinnt eine differenzierte visuelle Beurteilung der Okklusalfächen an Bedeutung, um unter Praxisbedingungen möglichst einfach, schnell und kostengünstig eine erste Diagnose zu stellen.

Der Vergleich zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen verdeutlicht, dass sich die Ausdehnung kariöser Läsionen am Zahnhartschnitt mit Hilfe des Laserfluoreszenzverfahrens nicht zuverlässig erfassen lässt. Daher muss die klassische Untersuchung von Zahnhartschnitten im Mikroskop weiterhin als Goldstandard der Kariesdiagnose gelten.

## 6.5 Klinische Relevanz

Da die vorliegende Arbeit als In-vitro-Studie angelegt war, können nicht alle Ergebnisse auf eine In-vivo-Situation übertragen werden. Experimentelle Faktoren, wie die Beeinflussung verschiedener Lagerungsmedien auf Fluoreszenz-Werte, spielen hierbei eine wichtige Rolle. Dennoch ist es sinnvoll, im Vorfeld einer In-vivo-Untersuchung, In-vitro-Untersuchungen durchzuführen, um weiterführende Studien effizienter und medizinisch aussagekräftiger gestalten zu können.

Mit dem ICDAS-II wurde im Jahr 2005 ein visuelles Diagnostikverfahren eingeführt, dass es ermöglicht, einerseits manifeste Läsionen und andererseits detailliert Kariesvorstufen zu erfassen. Die Nutzung der Kriterien des ICDAS-II eignen sich sowohl für epidemiologische Reihenuntersuchungen als auch für den zahnärztlichen Alltag. Im Fall von klinisch suspekten Befunden, können dann ergänzend weiterführende diagnostische Hilfsmittel, wie die Laserfluoreszenz angewandt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass mit der Laserfluoreszenzmessung die Mehrzahl der visuell als gesund eingestuften Messpunkte auch als solche erkannt wurde. Von den Dentinläsionen konnte etwas über die Hälfte erfasst werden. Vor diesem Hintergrund sollte in weiterführenden Studien die Kombination diagnostischer Verfahren zur Erfassung der Zahnkaries, wie z.B. die visuelle Inspektion und die Laserfluoreszenz, überprüft werden.

## 7 Zusammenfassungen

### 7.1 Zusammenfassung

#### **Korrelation des International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) zur okklusalen Kariesdiagnose mit Laserfluoreszenzmessungen - eine In-vitro-Studie**

**Problemstellung:** Der Rückgang der Kariesprävalenz und die Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen haben zur Folge, dass die Zahnkaries nicht mehr ausschließlich auf dem Kavitationsniveau erfasst werden sollte. Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) ist ein siebenstufiges visuelles Kariesdiagnosesystem, das kariös bedingte Veränderungen der Zahnhartsubstanzen bereits im frühen Stadium erfassen kann. Mit der Entwicklung dieses Verfahrens wird das Ziel verfolgt, das ICDAS-II als eine standardisierte Methode in der Lehre, in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien einzusetzen [Pitts, 2004]. Daneben sollen die mit diesem System erhobenen Daten besser in Übersichtsarbeiten oder Meta-Analysen Eingang finden können und somit die Anforderungen der evidenzbasierten Zahnmedizin erfüllen [Richards, 2005]. Neben den rein visuellen Methoden zur Kariesdiagnose stehen dem Zahnarzt eine Fülle weiterer Verfahren zur Verfügung. Hierzu zählt unter anderem auch die Laserfluoreszenz. Das Grundprinzip der Laserfluoreszenzmessungen beruht darauf, dass Zahnhartsubstanzen unter bestimmten Bedingungen fluoreszieren können [Stübel, 1911]. Dieses Phänomen verändert sich bei kariöser Zerstörung der Zahnhartsubstanz, wobei der Demineralisationsgrad von Schmelz und Dentin mit dem Ausmaß der Fluoreszenz korreliert.

**Ziel:** Ziel der Studie war es, zu überprüfen, wie Laserfluoreszenzmessungen an Fissuren extrahierter Zähne mit visuellen Befunden (ICDAS-II) und der Histologie korrespondierender Zahnhartschnitte (Klassifikation nach *Downer*) korrelieren. Daneben sollte als innovativer Ansatz der

Fragestellung nachgegangen werden, ob kariöse Läsionen auch im histologischen Präparat mit Hilfe des DIAGNOdent und des DIAGNOdent pen aufgedeckt werden können.

**Material und Methode:** 100 extrahierte und in gesättigter Thymol-Lösung gelagerte Seitenzähne wurden gereinigt und je Okklusalfäche wurden 1-4 Messpunkte ausgewählt (n=181). Vier Zahnärzte, davon einer, der an der Entwicklung des ICDAS beteiligt war, befundeten die Okklusalfächen nach den Kriterien des ICDAS-II und erzielten Konsens-Ergebnisse. Danach führte ein Untersucher an allen Messpunkten Untersuchungen mit dem Laserfluoreszenzmessgerät DIAGNOdent (KaVo, Biberach) durch. Zur Überprüfung der Konstanz des Untersuchers wurden alle Messungen nach einer Woche erneut durchgeführt. Im Anschluss wurden von allen Zähnen Serienschnitte mit einer Dicke von etwa 200 µm hergestellt. Die Ausdehnung der Karies wurde von allen vier Untersuchern nach den *Downer*-Kriterien mit einem Stereo-Makroskop unter Auflicht befundet. Dabei wurde jeweils ein Konsens erzielt. Ein weiterer Untersucher führte an den Zahnhartschnitten Messungen mit den Laserfluoreszenzgeräten DIAGNOdent und DIAGNOdent pen durch. Dabei wurde die Fissurensonde auf dem histologischen Präparat entlanggeführt und der maximale Wert registriert. Die Untersuchungen wurden wiederholt, um die Konstanz bestimmen zu können.

**Statistik:** Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (14.0). Mittels der Kappa-Statistik ( $\kappa$ ) und des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) wurde die Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen berechnet. Die Korrelationen wurden anhand des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ( $r_s$ ) dargestellt. Die Sensitivität und Spezifität wurden für das D1- und D3-Niveau angegeben.

**Ergebnisse:** Die ermittelten einfachen Intra-Untersucher Kappa-Werte lagen bei 0,77 für das DIAGNOdent bzw. bei 0,87 für das DIAGNOdent pen und somit im substantiellen bis fast perfekten Bereich. Die gewichteten Kappa-Werte lagen für beide Geräte im fast perfekten Bereich (0,90 und 0,94). Für die laserunterstützte Bestimmung der Läsionstiefe an den extrahierten Zähnen lag sowohl der einfache als auch der gewichtete Intra-

Untersucher Kappa-Wert im substantiellen Bereich (0,66 und 0,80). Die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten lagen für alle Messungen in der Größenordnung einer hohen Korrelation (0,828, 0,957, 0,988). Die Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen betrug  $r_s=0,52$ . Zwischen der visuellen Untersuchung und den histologischen Befunden konnte eine Korrelation von  $r_s=0,70$  ermittelt werden. Die Laserfluoreszenzmessungen an den Hartschnitten zeigten eine geringe Korrelation mit den visuellen Befunden ( $r_s=0,29$  und  $r_s=0,36$ ) und eine mittlere Korrelation mit der Histologie ( $r_s=0,60$  und  $r_s=0,54$ ). Zwischen den Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen und den Präparaten konnte eine Korrelation von  $r_s=0,50$  bzw.  $r_s=0,54$  berechnet werden. Die Sensitivität für die visuelle Untersuchung lag für das D1-Niveau bei 90,7 % und für das D3-Niveau bei 70,1 %. Die ermittelte Spezifität betrug für das D1-Niveau 54,0 % und für das D3-Niveau 91,1 %. Für die Laserfluoreszenzmessungen an den extrahierten Zähnen betrug die Sensitivität für das D1-Niveau 47,3 % und für das D3-Niveau 53,0 %. Die ermittelte Spezifität lag für das D1-Niveau bei 88,0 % und für das D3-Niveau bei 87,0 %.

**Diskussion und Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse unserer Studie zeigen bezüglich der Reproduzierbarkeit des DIAGNOdent und DIAGNOdent pen gute Ergebnisse. Somit ist es möglich, die Geräte zur Kariesverlaufskontrolle anzuwenden.

Die Korrelation zwischen der visuellen Kariesdiagnose und den laserbasierten Untersuchungen lag im mittleren bis geringeren Bereich. Eine bessere Korrelation konnte zwischen den visuellen und histologischen Befunden festgestellt werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es richtig, verstärkt differenzierte visuelle Klassifizierungssysteme, wie das ICDAS-II, in die zahnärztliche Aus- und Weiterbildung aufzunehmen. Auch im Hinblick auf die gegenwärtig noch nicht zufriedenstellende Güte anderer ergänzender diagnostischer Verfahren gewinnt eine differenzierte visuelle Beurteilung der Okklusalfäche an Bedeutung, um unter Praxisbedingungen möglichst einfach, schnell und kostengünstig eine erste Diagnose zu stellen.

Der Vergleich zwischen den histologischen Befunden und den Laserfluoreszenzmessungen verdeutlicht, dass sich die Ausdehnung kariöser Läsionen am Zahnhartschnitt mit Hilfe des Laserfluoreszenzverfahrens nicht zuverlässig erfassen lässt. Daher muss die klassische Untersuchung von Zahnhartschnitten im Mikroskop weiterhin als Goldstandard der Kariesdiagnose gelten.

## 7.2 Zusammenfassung englisch

### **Correlation of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) for the detection of occlusal caries with laser fluorescence measurements - an in-vitro study**

**Aim:** The aim of this study was to evaluate the correlation of visual inspection results (V) on occlusal surfaces of extracted teeth, the results of the laser fluorescence measurements (LF-Z) and histological of hard tissue sections (H). Additionally the correlation of LF-measurements on tooth slices (LF-H/LF-H pen) and visual and histological results were to be evaluated. **Material & methods:** 100 human extracted molars with 181 examination sites on the occlusal surfaces were examined visually (ICDAS-II) and by laser fluorescence. Thereafter the teeth were serially sectioned and assessed histologically and with LF. **Statistics:** Statistical analysis was made with SPSS (14.0). Cohen's kappa was used to calculate the intra-examiner reproducibility. Additionally, the Intraclass Correlation Coefficient (ICC) was measured. The correlation was calculated using Spearman's correlation coefficient. Sensitivity and specificity were measured for D1 and D3 level. **Results:** Weighted kappa value for intra-examiner reproducibility was 0.80 for LF-Z. For LF-H and LF-H pen, the weighted kappa values were 0.90 and 0.94. The Intraclass Correlation Coefficient was 0.988 for LF-H and 0.828 for LF-H pen. The correlation between V and LF-Z was  $r_s=0.52$  and between V and H 0.70. The LF-measurements of the sections showed a poor correlation with V ( $r_s=0.29$  and 0.36) and a moderate correlation with H ( $r_s=0.60$  und 0.54). The correlation between LF-Z and LF-H was  $r_s=0.5$ . For visual inspection at the D1 diagnostic threshold (enamel and dentine lesions) specificity was 54.0% and sensitivity was 90.7%. At the D3 diagnostic threshold (dentine lesions) specificity was 91.1% and sensitivity was 70.1 %. Sensitivity of the laser fluorescence measurement was 47.3% for D1 level and 53.0% for D3 level. Specificity was 88.0% for D1 and 87.0% for D3. **Conclusion:** Caries lesions on hard tissue sections can only be registered limitedly by LF-measurements. Regarding depth of lesion histological examination is the preferable method.

### 7.3 Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie

#### **Korrelation des International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) zur okklusalen Kariesdiagnose mit Laserfluoreszenzmessungen - eine In-vitro-Studie**

**Problemstellung:** Der Rückgang der Kariesprävalenz und die Verschiebung der Ausprägung von kariösen Läsionen haben zur Folge, dass die Karies nicht mehr ausschließlich auf dem Kavitationsniveau erfasst werden sollte. Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) ist ein siebenstufiges visuelles Kariesdiagnosesystem, das kariös bedingte Veränderungen der Zahnhartsubstanzen bereits im frühen Stadium erfassen kann. Neben der rein visuellen Kariesdiagnose stehen dem Zahnarzt weitere Verfahren zur Verfügung. Hierzu zählt unter anderem auch die Laserfluoreszenz. **Ziel** der Studie war es, die Korrelation von visuellen Befunden (V) an Fissuren extrahierter Zähne mit den Werten von Laserfluoreszenzmessungen (LF-Z) und der Histologie korrespondierender Zahnhartschnitte (H) zu überprüfen. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob LF-Messungen an Zahnhartschnitten (LF-H/LF-H pen) mit visuellen und histologischen Befunden korrelieren. **Material und Methode:** 181 Messpunkte an Okklusalfächen von 100 menschlichen extrahierten Seitenzähnen wurden visuell (ICDAS-II) und unter Anwendung des LF-Gerätes untersucht. Nicht entkalkte Zahnhartschnitte wurden hergestellt und histologisch sowie mit den LF-Geräten untersucht. **Statistik:** Die Reproduzierbarkeit der Laserfluoreszenzmessungen wurde mittels der Kappa-Statistik ( $\kappa$ ) und des Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten berechnet. Die Korrelationen wurden anhand des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ( $r_s$ ) ermittelt. Die Sensitivität und Spezifität wurden für das D1- und D3-Niveau berechnet. **Ergebnisse:** Die gewichteten Intra-Untersucher Kappa-Werte lagen sowohl für das DIAGNOdent, als auch für das DIAGNOdent pen im fast perfekten Bereich (0,90 und 0,94). Für die laserunterstützte Bestimmung der Läsionstiefe an den extrahierten Zähnen lag der gewichtete Intra-Untersucher Kappa-Wert



im substantiellen Bereich (0,80). Die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten lagen für alle Messungen in der Größenordnung einer hohen Korrelation (0,828, 0,957, 0,988). Die Korrelation zwischen V und LF-Z lag bei  $r_s=0,52$  und zwischen V und H bei  $r_s=0,70$ . Die LF-Messungen an den Hartschnitten zeigten eine geringe Korrelation mit V ( $r_s=0,29$  und  $r_s=0,36$ ) und eine mittlere Korrelation mit H ( $r_s=0,54$  und  $r_s=0,60$ ). Die Korrelation zwischen LF-Z und LF-H lag mit  $r_s=0,50$  im mittleren Bereich. Die Sensitivität für die visuelle Untersuchung lag für das D1-Niveau bei 90,7 % und für das D3-Niveau bei 70,1 %. Die ermittelte Spezifität betrug für das D1-Niveau 54,0 % und für das D3-Niveau 91,1 %. Für die Laserfluoreszenzmessungen am extrahierten Zahn betrug die Sensitivität für das D1-Niveau 47,3 % und für das D3-Niveau 53,0 %. Die ermittelte Spezifität lag für das D1-Niveau bei 88,0 % und für das D3-Niveau bei 87,0 %.

**Diskussion und Schlussfolgerung:** Insgesamt zeigte das ICDAS-II nur eine moderate Korrelation zur LF-Messung. Möglicherweise spielen hierbei die mit einer In-vitro-Studie verbundenen experimentellen Faktoren eine wichtige Rolle. Daher sollten weiterführende In-vivo-Studien durchgeführt werden. Kariös veränderte Zahnhartsubstanzen können mit LF-Messungen an histologischen Zahnhartschnitten nur eingeschränkt erfasst werden. Für Aussagen über die Tiefenausdehnung der Karies ist die histologische Untersuchung (als Goldstandard) besser geeignet.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Alwas-Danowska HM, Plasschaert AJ, Suliborski S, Verdonshot EH: Reliability and validity issues of laser fluorescence measurements in occlusal caries diagnosis. *J Dent* 30, 129-134 (2002).
2. Anderson MH, Bales DJ, Omnell KA: Modern management of dental caries: The cutting edge is not the dental bur. *J Am Dent Assoc* 124, 37-44 (1993).
3. Ando M, Hall AF, Eckert GJ, Schemehorn BR, Analoui M, Stookey GK: Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries Res* 31, 125-131 (1997).
4. Angnes V, Angnes G, Batistella M, Grande RHM, Loguerico AD, Reis A: Clinical effectiveness of laser fluorescence, visual inspection and radiography in the detection of occlusal caries. *Caries Res* 39, 490-495 (2005).
5. Anttonen V, Seppä L, Hausen H: A follow-up study of the use of DIAGNOdent for monitoring fissure caries in children. *Community Dent Oral Epidemiol* 32, 312-318 (2004).
6. Arends J, ten Bosch JJ: Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res* 71 (Spec Iss), 924-928 (1992).
7. Backer-Dirks OB, Houwink B, Kwant GW: The results of 6 1/2 years of artificial fluoridation of drinking water in the Netherlands. The Thiel-Culemborg experiment. *Arch Oral Biol* 5, 284-300 (1961).
8. Bader JD, Shugars DA: A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *J Am Dent Assoc* 135, 1413-1426 (2004).
9. Banerjee A, Boyde A: Autofluorescence and mineral content of carious dentine: scanning optical and backscattered electron microscopic studies. *Caries Res* 32, 219-226 (1998).
10. Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon AM: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: verified by gradient reversed-phase HPLC (Abstract). *Caries Res* 42, 223 (2008).
11. Burin C, Loguericio AD, Grande RH, Reis A: Occlusal caries detection: a comparison of a laser fluorescence system and conventional methods. *Pediatr Dent* 27, 307-312 (2005).

12. Burket LW: The accuracy of clinical and roentgenologic diagnosis of dental caries as determined by microscopic studies. *J Dent Res* 20, 71-76 (1941).
13. Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A: Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 68, 773-779 (1989).
14. Chesters RK, Pitts NB, Matuliene G, Kvedariene A, Huntington E, Bendinskaite R, Balciuniene I, Matheson JR, Nicholson A, Gendvilyte A, Sabalaite R, Ramanauskiene J, Savage D, Mileriene J: An abbreviated caries clinical trial design validated over 24 months. *J Dent Res* 81, 637-640 (2002).
15. Cohen J: Weighted kappa: nominal scales agreement with provision for scaled disagreement on partial credit. *Psychol Bull* 70, 213-220 (1968).
16. Côrtes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR: An in vitro comparison of a combined FOTI/visual examination of occlusal caries with other caries diagnostic methods and the effect of stain on their performance. *Caries Res* 37, 8-16 (2003).
17. Crabb HSM: Fissures at risk. *Br Dent J* 140, 303-307(1976).
18. Downer MC: Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. *Caries Res* 9, 231-246 (1975).
19. Downer MC: Validation of methods used in dental caries diagnosis. *Int Dent J* 39, 241-246 (1989).
20. Duschner H, Götz H, Øgaard B: Fluoride-included precipitates on enamel surface and subsurface areas visualised by electron microscopy and confocal laser scanning microscopy. *Eur J Oral Sci* 105, 446-472 (1997).
21. Duschner H: Die dreidimensionale Darstellung mikroskopischer Strukturen mit CLSM. *Zahnärztl Mitt* 91, 24-27 (2001).
22. Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A: Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 21, 368-374 (1987).
23. Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjørndal L, Thylstrup A: Relationship between external and histologic features of progressive stage of caries in the occlusal fossa. *Caries Res* 29, 234-250 (1995).

24. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31, 224-231 (1997).
25. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V, Schou S: Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 32, 247-254 (1998).
26. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Occlusal caries: pathology, diagnosis and logical management. *Dent Update* 28, 380-387 (2001).
27. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Longbottom C, Pitts NB: Visual and tactile assessment of arrested initial enamel carious lesions: an in vivo pilot study. *Caries Res* 39, 173-177 (2005).
28. Francescut P, Lussi A: Correlation between fissure discoloration, DIAGNOdent measurements and caries depth: an in vitro study. *Pediatr Dent* 25, 559-564 (2003).
29. Francescut P, Zimmerli B, Lussi A: Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res* 40, 181-185 (2006).
30. Fung L, Smales R, Ngo H, Mount G: Diagnostic comparison of three groups of examiners using visual and laser fluorescence methods to detect occlusal caries in vitro. *Australian Dent J* 49, 67-71 (2004).
31. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: Effect of diagnostic threshold on the validity and reliability of epidemiological caries diagnosis using the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 42-51 (2000a).
32. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: In vitro validity of the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 52-58 (2000b).
33. Glass RL (ed.): The first international conference on the declining prevalence of dental caries. *J Dent Res* 61 (Spec Iss), 1304-1383 (1982).
34. Gmür R, Giertsen E, van der Veen MH, de Josselin de Jong E, ten Cate JM, Guggenheim B: In vitro quantitative light-induced fluorescence to measure changes in enamel mineralization. *Clin Oral Invest* 10, 187-195 (2006).

35. Goddon I, Berger S, Senkel H, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Okklusalkaries - frühzeitige Diagnostik in den schulischen Reihenuntersuchungen. *Gesundheitswesen* 70, 649-652 (2008).
36. Hannigan A, O`Mullane DM, Barry D, Schäfer F, Roberts AJ: A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. *Caries Res* 34, 103-108 (2000).
37. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Weerheijm K, Stöber L: Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 476-480 (2001).
38. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stöber L: Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. *Oralprophylaxe* 25, 77-80 (2003).
39. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J: Stellenwert der Bissflügel-Röntgenaufnahme zur Kariesdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *ZWR* 116, 157-164 (2007).
40. Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J: Kariesdiagnostik - Eine Herausforderung für den Zahnarzt? *ZWR* 117, 160-168 (2008).
41. Hibst R: Optische Meßmethoden zur Kariesdiagnose. *ZWR* 108, 50-55 (1999).
42. Hintze H, Wenzel A, Larsen MJ: Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries lesions. *Caries Res* 29, 359-363 (1995).
43. Howat AP: A comparison of the sensitivity of caries diagnostic criteria. *Caries Res* 15, 331-337 (1981).
44. Hujoel P, Mäkinen K, Bennett CB, Isokangas PJ, Isotupa KP, Pape JRH, Lamont RJ, DeRouen TA, Davis S: Do caries explorers transmit infections within persons? An evaluation of second molar caries onsets. *Caries Res* 29, 461-466 (1995).
45. Huth KC, Neuhaus KW, Gygax M, Bücher K, Crispin A, Paschos E, Hickel R, Lussi A: Clinical performance of a new laser fuorescence device for detection of occlusal caries lesions in permanent molars. *J Dent* 36, 1033-1040 (2008).
46. Huysmans M, Longbottom C: The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C48-C52 (2004).
47. Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). *ZWR* 113, 254-248 (2004).

48. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee: Rationale and evidence for the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II) & Criteria Manual, Baltimore 2005.  
<http://www.icdas.org/>
49. Jablonski-Momeni A, Hartmann T, Stoll R, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen in Marburg in den Jahren 2002 bis 2006. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 29, 161-164 (2007).
50. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 42, 79-87 (2008a).
51. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts D, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Pieper K: Validierung des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries - eine In-vitro Studie mittels Oberflächeninspektion und Histologie. *Dtsch Zahnärztl Z* 63, 343-349 (2008b).
52. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Stachniss V, Maschka R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Occlusal caries: Evaluation of direct microscopy versus digital imaging used for two histological classification systems, *J Dent* 37, 204-211 (2009).
53. Juhl M: Localization of carious lesions in occlusal pits and fissures of human premolars. *Scand J Dent Res* 91, 251-255 (1983).
54. Keyes PH: Recent advances in dental caries research. Bacteriology. Bacteriological findings and biological implications. *Int Dent J* 12, 443-464 (1962).
55. Kingman A: Statistical issues in risk models of caries; in Bader JD (ed): Risk assessment in dentistry. Chapel Hill, NC University of North Carolina Dental Ecology, 193-200 (1990).
56. König KG: Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. *J Dent Res* 2, 461-476 (1963).
57. König K: Karies und Kariesprophylaxe. München, Wilhelm Goldmann Verlag GmbH 1971.
58. König K, Flemming G, Hibst R: Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell mol Biol* 44, 1293-1300 (1998).
59. Koulourides T: Dynamics of tooth surface oral fluid equilibrium. In: Staple P (Hg.) *Advances in Oral Biology*. Academic Press, Inc, New York, pp. 149-171, 1966.

60. Kühnisch J, Ziehe A, Brandstädt A, Heinrich-Weltzien R: An in vitro study of the reliability of DIAGNOdent measurements. *J Oral Rehabil* 31, 895-899 (2004).
61. Kühnisch J, Tabatabaie M, Viergutz G, Zraiki S, Hetzer G, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Vergleichende In-vitro-Untersuchung von zwei Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalfächen. *Dtsch Zahnärztl Z* 61, 131-136 (2006).
62. Kühnisch J, Goddon I, Senkel H, Monse-Schneider B, Oehme T, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Development of a Universal Visual Scoring System (UniViss). *Caries Res* 41, 289 (2007a).
63. Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, Heinrich-Weltzien R: Kariesdetektion und -diagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 29, 16-171 (2007b).
64. Kühnisch J, Bücher K, Hickel R: The intra/inter-examiner reproducibility of the new DIAGNOdent pen on occlusal sites. *J Dent* 35, 509-512 (2007c).
65. Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R: Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. *Community Dent Oral Epidemiol* 36, 475-484 (2008).
66. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159-174 (1977).
67. Laurisch L: Gratwanderung Kariesdiagnostik: invasiv oder präventiv? *Dtsch Zahnärztl Z* 62, 206-212 (2007).
68. Levine RS: The aetiology of dental caries - an outline of current thought. *Int Dent J* 27, 341-348 (1977).
69. Loesche WJ, Svanberg ML, Pape HR: Intraoral transmission of streptococcus mutans by a dental explorer. *J Dent Res* 58, 1765-1770 (1979).
70. Longbottom C, Huysmans MC, Pitts N, Los P, Bruce PG: Detection of dental decay and its extent using a.c. impedance spectroscopy. *Nat Med* 2, 235-237 (1996).
71. Longbottom C, Huysmans MC: Electrical measurements for use in caries clinical trials. *J Dent Res* 83 (Spec Iss), C76-C79 (2004).
72. Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27, 409-416 (1993).

73. Lussi A, Hotz P, Stich H: Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 629-634 (1995).
74. Lussi A: Methoden zur Diagnose und Verlaufsdiagnose der Karies. Wann bohren? *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 108, 357-364 (1998).
75. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts NB, Longbottom C, Reich E: Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 33, 261-266 (1999).
76. Lussi A: Laserinduzierte Fluoreszenz zur Erkennung der Okklusalkaries. Erste in-vivo-Resultate. *Acta Med Dent Helv* 5, 15-19 (2000).
77. Lussi A, Megert B, Longbottom C, Reich E, Francescut P: Clinical performance of a laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions. *Eur J oral Sci* 109, 14-19 (2001).
78. Lussi A, Francescut P, Schaffner M: Neue und konventionelle Methoden zur Diagnose der Fissurenkaries. *Quintessenz* 54, 1037-1046 (2003).
79. Lussi A, Hibst R, Paulus R: DIAGNOdent: An optical method for caries detection. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C80-C83 (2004).
80. Lussi A, Hellwig E: Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent* 34, 467-471 (2006).
81. Lussi A, Hack A, Hug I, Heckenberger H, Megert B, Stich H: Detection of approximal caries with a new laser fluorescence device. *Caries Res* 40, 97-103 (2006).
82. Marthaler TM: A standardized system of recording dental conditions. *Helv Odontol Acta* 10, 1-19 (1966).
83. Marthaler TM: Changes in dental caries 1953-2003. *Caries Res* 38, 173-181 (2004).
84. McHugh WD, McEwen JD, Hitchin AD: Dental disease and related factors in 13-year-old children in Dundee. *Br Dent J* 117, 246-253 (1964).
85. Mejare I, Källestål C, Stenlund H, Johansson H: Caries development from 11 to 22 years of age: a prospective radiographic study. Prevalence and distribution. *Caries Res* 32, 10-16 (1998).
86. Menzel H, des Bordes L: Die Brauchbarkeit des Kaltlichtes bei der Frühdiagnose der Karies im Vergleich zur klinischen und röntgenologischen Untersuchungsmethode. *Dtsch Zahnärztl Z* 29, 147-150 (1974).



87. Micheelis W, Schiffner U (2006): Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005. Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.). Deutscher Zahnärzte Verlag Köln 2006.
88. Miller WD: Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Leipzig 1889.  
Zitiert in: Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. Quintessenz Verlag Berlin 1973.
89. Mitropoulos C: The use of fibre-optic transillumination in the diagnosis of posterior approximal caries in clinical trials. *Caries Res* 19, 379-384 (1985).
90. Møller IJ: Clinical criteria for the diagnosis of the incipient carious lesion. *Adv Fluorine Res* 4, 67-72 (1966).
91. Møller IJ, Poulsen S: A standardized system for diagnosing, recording and analyzing dental caries data. *Scand J Dent Res* 81, 1-11 (1973).
92. Momeni A, Pieper K, Stoll R: Rückgang der Kariesprävalenz bei 6-bis 7-Jährigen in Hessen in den Jahren 1994 bis 2000. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 24, 99-102 (2002).
93. Momeni A, Hartmann T, Born C, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen im Kreis Marburg-Biedenkopf. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 26, 153-156 (2005).
94. Mortimer KV: Some histological features of fissure caries in enamel. *Adv Fluorine Res* 2, 85-94 (1964).
95. Nagano T: Relationship between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries. *Dent Abstr* 6, 426 (1961).  
Zitiert in: König KG: Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. *J Dent Res* 2, 461-476 (1963).
96. National Institutes of Health: Diagnosis and Management of Dental Caries Throughout Life. National Institutes of Health Consensus Development Conference Statement, March 26-28, 2001. *J Dent Educ* 65, 1162-1168 (2001).
97. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33, 252-260 (1998).
98. Parfitt GJ: A standard clinical examination of the teeth. *Br Dent J* 96, 296-300 (1954).

99. Pearce E, Larsen M, Coote G: Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. *Caries Res* 33, 196-205 (1999).
100. Peltola J, Wolf J: Fibre optic transillumination in caries diagnosis. *Proc Finn Dent Soc* 77, 240-244 (1981).  
Zitiert in: Pieper K: Erste Erfahrungen mit einer neu entwickelten Kaltlicht-Diagnosesonde. *ZWR* 3, 262-263 (1986).
101. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res* 26, 445-449 (1992).
102. Pereira AC, Verdonchot E, Huysmans MC: Caries detection methods: Can they aid decision making for invasive sealant treatment? *Caries Res* 35, 83 (2001).
103. Pieper K: Erste Erfahrungen mit einer neu entwickelten Kaltlicht-Diagnosesonde. *ZWR* 3, 262-263 (1986).
104. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1994. Gutachten. DAJ, Bonn 1995.
105. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1995. Gutachten. DAJ, Bonn 1996.
106. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Gutachten. DAJ, Bonn 1998.
107. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000. Gutachten. DAJ, Bonn 2001.
108. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Gutachten. DAJ, Bonn 2005.
109. Pine CM, ten Bosch JJ: Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries Res* 30, 381-388 (1996).
110. Pitts NB: Clinical diagnosis of dental caries: a european perspective. *J Dent Educ* 65, 972-978 (2001).
111. Pitts N: „ICDAS“ - an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Commun Dent Health* 21, 193-198 (2004).
112. Pitts NB, Stamm JW: International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT) - Final Consensus Statements: Agreeing where the evidence leads. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C): C125-C128 (2004).

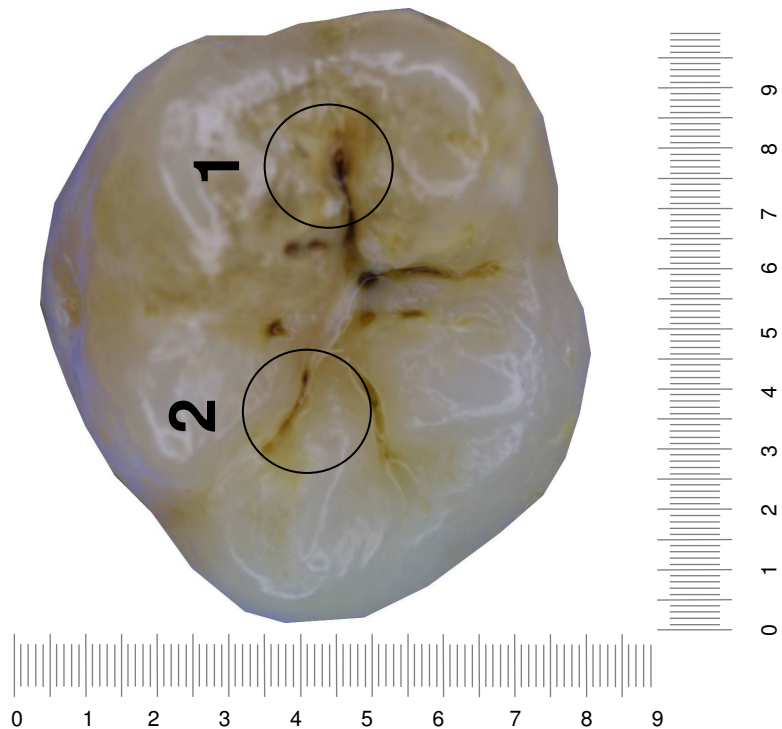
113. Radike AW: Criteria for diagnosing dental caries. In: Proceedings of the Conference on the Clinical Testing of Cariostatic Agents. Chicago: American Dental Association, pp. 87-88, 1968.
114. Raper HR: A new kind of x-ray examination for preventive dentistry. *Int J Orthod Oral Surg* 11, 76-86 (1925).
115. Reis A, Zach VL Jr, de Lima AC, de Lima Navarro MF, Grande RH: Occlusal caries detection: a comparison of DIAGNOdent and two conventional diagnostic methods. *J Clin Dent* 15, 76-82 (2004).
116. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Willson RF: A re-evaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Br Dent J* 178, 11-17 (1995a).
117. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Beighton D: Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179, 214-220 (1995b).
118. Ricketts DNJ, Watson TF, Liepin PJ, Kidd EAM: A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 26, 89-96 (1998).
119. Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Kidd EAM, Larsen T: Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. *Operative Dent* 27, 231-237 (2002).
120. Ricketts DNJ, Shoaib L, Deery L, Nugent ZJ: The validity and reproducibility of a laser fluorescence pen for caries detection in primary teeth (Abstract). *Caries Res* 42, 224 (2008).
121. Richards D: Outcomes, what outcomes? Editorial. *Evidence-Based Dentistry* 6, 1 (2005).
122. Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42, 297-304 (2008).
123. Rohr M, Makinson OF, Burrow MF: Pits and fissures: morphology. *ASDC J Dent Child* 58, 97-103 (1991).
124. Schneidermann A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J: Assessment of dental caries with digital imaging fiber-optic transillumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Res* 31, 103-110 (1997).
125. Schroeder HE: Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Auflage, Karger 1997.

126. Schulte A, Pieper K: Elektrische Widerstandswerte in Fissuren kariesfreier Prämolaren von Erwachsenen und Kindern. Dtsch Zahnärztl Z 52, 741- 744 (1997).
127. Schwarzer G, Türp JC, Antes G: Die Vierfeldertafel (in Diagnosestudien) - Sensitivität und Spezifität. Dtsch Zahnärztl Z 57, 333-334 (2002).
128. Sheehy EC, Brailsford SR, Kidd EAM, Beighton D, Zoitopoulos L: Comparison between visual examination and a laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. Caries Res 35, 421-426 (2001).
129. Shi XQ, Welander U, Angmar-Månsson B: Occlusal caries detection with KaVo DIAGNOdent and radiography: an in vitro comparison. Caries Res 34, 151-158 (2000).
130. Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel AE, Ramos RP, Corona SAM, Palma-Dibb RG: Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. Caries Res 40, 194-201 (2006).
131. Stachniss V: Zur Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne und digitale makrofotografische Reproduktion histologischer Präparate. Projektbericht. Marburg, 2005.
132. Stübel H: Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. Pfluegers Arch Ges Physiol 142, 1-14 (1911).  
Zitiert in: Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). ZWR 113, 254-248 (2004).
133. ten Bosch JJ, Angmar-Månsson B: A review of quantitative methods for studies of mineral contents of intra-oral incipient caries lesions. J Dent Res 70, 2-14 (1991).
134. Thylstrup A, Fejerskov O: Textbook of Clinical Cariology. Munksgaard, Copenhagen, 1994.
135. Tranaeus S, Shi XQ, Angmar-Månsson B: Caries risk assessment: methods available to clinicians for caries detection. Community Dent Oral Epidemiol 33, 265-273 (2005).
136. Weerheijm KL, Groen HJ, Bast AJJ, Kieft JA, Eijkman MAJ, van Amerongen WE: Clinically undetected occlusal dentine caries: a radiographic comparison. Caries Res 26, 305-309 (1992).
137. Weerheijm KL, Kidd EAM, Groen HJ: The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. Caries Res 31, 30-34 (1997).

138. Wenzel A: Bitewing and digital bitewing radiography for detection of caries lesions. J Dent Res 83 (Spec Iss C), C72-C75 (2004).
139. WHO: Oral health surveys. Basic methods, ed 4. World Health Organization, Geneva 1997.
140. Zöfel P: Statistik verstehen. Addison-Wesley Verlag, München 2002.

# Dokumentationsbogen für die extrahierten Zähne

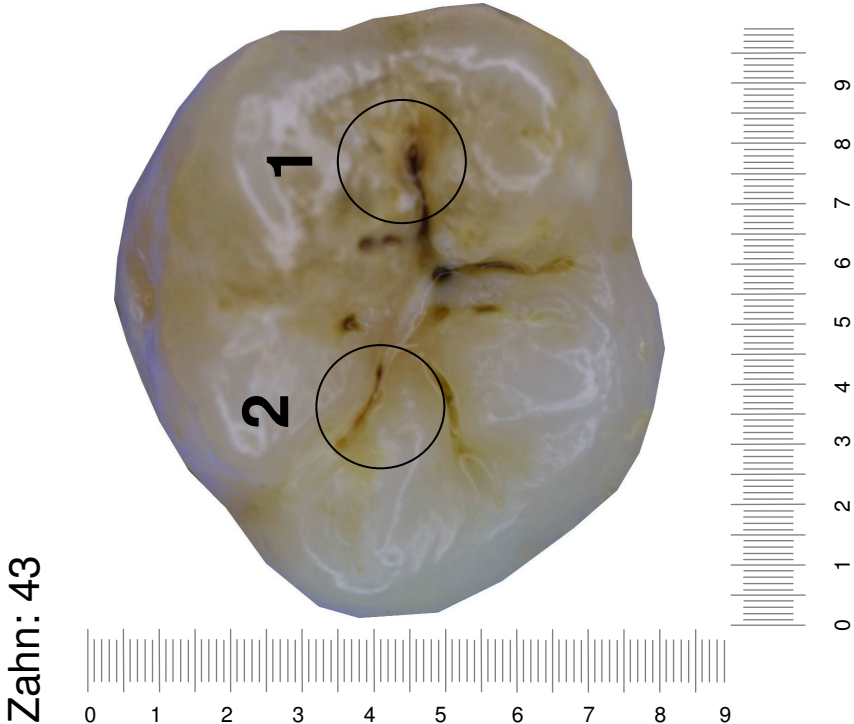
Name des Untersuchers:  
Zahn: 43



Messpunkt:										
<b>1</b>										
	0	1	2	3	4	5	6			
Messpunkt:										
<b>2</b>										
	0	1	2	3	4	5	6			
Messpunkt:										
<b>3</b>										
	0	1	2	3	4	5	6			
Messpunkt:										
<b>4</b>										
	0	1	2	3	4	5	6			

Anhang II: Dokumentationsbogen zur Erfassung der Laserfluoreszenz-Werte an den extrahierten Zähnen.

Dokumentationsbogen für Laserfluoreszenzmessungen  
an extrahierten Zähnen



Zahn Nr 43	Zahn- konstant	Aktueller DD-Wert	DD-Peak- Wert
Messpunkt			
1			
2			
3			
4			

# Anhang III: Protokollblatt zur Dokumentation der Entwässerungs- und Infiltrationsreihe für die Zahnkronen.

**Med. Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg; Abt. Zahnerhaltung, Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss**

**Dokumentation zur Hartschnitt-Aufbereitung von Zähnen klinischer Fälle**

File: Maske\_H8\_T\_Alkoholreihe&Infiltration\_2k6-02-05  
c:\lab\Hartschnitt\_Pac-Zahn-Aufbereitung\_2k6-07-04.xls

Patientin: Aufkleberfeld

überweisender Behandler

Zahn #

Datum =

Problemnummer - Muster

P# 2008-MMM-TT

P# 2008 - 0

Extraktionsgrund

Röntgenbilder:

vor WF

nach WF

vor Extraktion

nach Extraktion

Datum

digital/analog

gewünschte Dicke der Schnitte

in µm

gewünschtes Format der Objekträger

(Standard) (groß / schneller)

76x26x2 mm 100x60x2 mm

Zahnlänge

in mm

Entwässerungsreihe

Alkohol %	40 %	60 %	80 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Stunden soll	12	12	12	12	12	12	12
Datum							
Stunden Start							
Stunden Ende							
Auflöser							

Präinfiltration

Alkohol/Techno

verf. 1:1

24

36

Infiltration

Techno 7200

Normaldruck

Vakuum

600 mbar

Vorpolymersation

UV-A Licht

min. 4 h

norm. 10 h

Werkstoffe

Fa. Kulzer

Fa. Vötsch

ZT-PMMA

Polyester GH Techno 7200

Formteile

zur Einbettung

Aryl-Zentr-Konus

Aryl-Rohr

10 ml Spritze

12 ml Spritze

Eiswasser

Druck

Vorschub zur Dreiteilung des Zahnes:

(Zahnlänge in mm minus )/3

Vorschub zur senkell-parallelten Auftrennung in 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 Schnittebenen

Vorschub V0 =

in µm

Vorschub V1 =

in µm

V1 - Defaultwert für 200µm D64 Band 700 µm 100µm D66 Band 450 µm

Die Aufbereitung ausgeführt:

Frau Schäfer

Frau Grimmelbein

Prof. Stachniss

N.N.

Unterschnitt + Datum

Repro-technik Name:

digitale Makro-Repro:

Zustand wie angeliefert

Schnittebenen #:

Präparate archiviert

Präp.-Kasten # von-bis

Daten gespeichert wo:

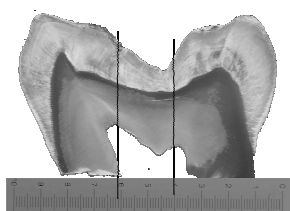
Präp. & Filename:



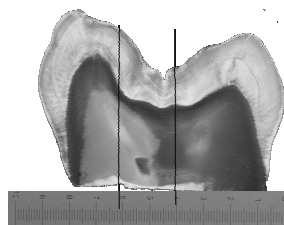
## Anhang IV: Dokumentationsblatt zur Herstellung der Zahnhartschnitte.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Schneideprotokoll_3er-Platte_2x8-02-04.xls													
2	Schneideprotokoll für die Herstellung histologische Hartschnitte/Schliffe													
3	Bandspezifische Parameter:													
4	Banddicke in µm	200	100			Projekt:								
5	Diamantring D	65	46			Proben #:								
6	Verschnitt in µm	420	250	Default-Wert										
7				berechnet aus Verlaufskontrollen										
8														
9	Algorithmus:	Vorschub = B and-Verschnitt + Block-Handschliff + Präparat-Handschliff + Präparatdicke												
10	Beispiele in µm	680	420	65	45	150	(netto, d.h. ohne die 25 µm Kleberschicht)							
11														
12				Vorschub	Schliffen-Zuggewicht									
13				Default-Wert										
14				680 +/- 20 µm										
15	Datum & Uhrzeit	Schnitt #		oder neu berechnet		Block-Handschliff	Blocklänge in µm nach Schliff	Block-Verschliff in µm	Präparat nach Schliff	Präparat-Verschliff in µm				
16				in µm		Bandgeschwindigkeit								
17						Schneidrate max. # 15								
18						Werkzeugelemente # 5								
19														
20		1												
21														
22		2												
23														
24														
25		3												
26														
27														
28		4												
29														
30														
31		5												
32														
33														
34		6												
35														
36														
37		7												
38														
39														

Anhang V: Dokumentationsbogen für die histologischen Untersuchungen.  
Die zu beurteilende Stelle innerhalb des Zahnhartschnittes ist durch die Linien eingegrenzt.

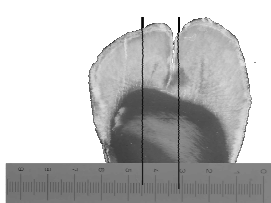


001/Ebene 12

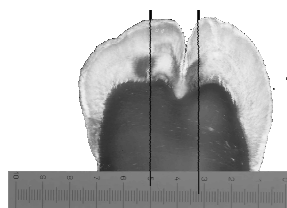


001/Ebene 13

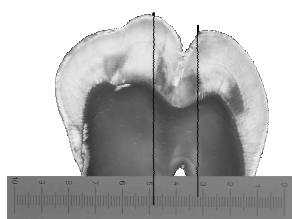
Zahn 1	Klassifizierung nach <i>Downer</i> [1975]
Messpunkt 1	
Ebenen	
12	
13	
gesamt	



001/Ebene 4



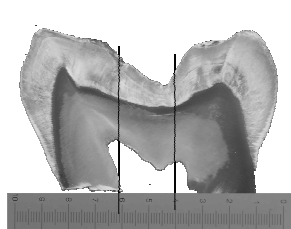
001/Ebene 5



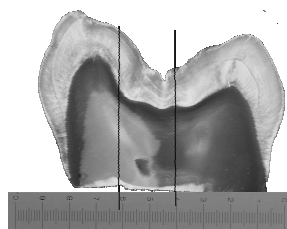
001/Ebene 6

Zahn 1	Klassifizierung nach <i>Downer</i> [1975]
Messpunkt 2	
Ebenen	
4	
5	
6	
gesamt	

Anhang VI: Dokumentationsbogen für die Laserfluoreszenzmessungen an den Zahnhartschnitten.

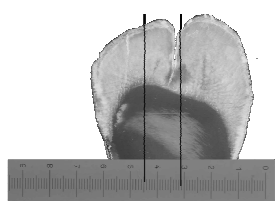


001/Ebene 12

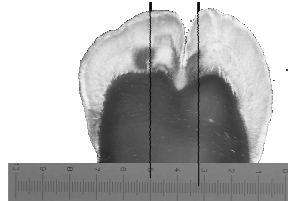


001/Ebene 13

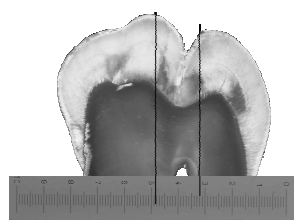
Zahn 1	DD-Wert	Peak-Wert	DD-Wert
Messpunkt 1	(momentaner Wert)		Referenzpunkt
Ebenen			
12			
13			
gesamt			



001/Ebene 4



001/Ebene 5



001/Ebene 6

Zahn 1	DD-Wert	Peak-Wert	DD-Wert
Messpunkt 2	(momentaner Wert)		Referenzpunkt
Ebenen			
4			
5			
6			

## 10 Abkürzungsverzeichnis

Untenstehend folgt eine alphabetische Auflistung der im Manuskript verwendeten Abkürzungen:

°C	Grad Celsius
µm	Mikrometer
Abb.	Abbildung
AUC	Area under the curve
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CLSM	Confocal Laser Scanning Microscope
D1	Karies auf Dentin- und Schmelz-Ebene
D3	Karies auf Dentin-Ebene
d.h.	dass heißt
DAJ	Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege
DIFOTI	Digitale faseroptische Transillumination
DSTM	Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis
ECM	Electronic Caries Monitor
etc.	et cetera
FOTI	Faseroptische Transillumination
ggf.	gegebenenfalls
H	histologische Untersuchung
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ICDAS	International Caries Detection and Assessment System
ICW-CCT	International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials
κ	Kappa
KB	koloniebildende Einheiten
LF-Z	Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am extrahierten Zahn
LF-H	Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent) am Zahnhartschnitt

---

LF-H pen	Laserfluoreszenzmessungen (DIAGNOdent pen) am Zahnhartschnitt
ML	Messlänge
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mW	Milliwatt
NaOCl	Natriumhypochlorit
nm	Nanometer
QLF	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz
ROC	Receiver Operating Characteristics
$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
s	Sekunden
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Std.	Stunden
Tab.	Tabelle
TMR	Transversale Mikroradiographie
tan	Tangens
UniViss	Universelles visuelles Scoring System
V	visuelle Untersuchung
WHO	World Health Organisation
z.B.	zum Beispiel

## **11 Materialliste**

Untenstehend folgt eine Auflistung der in der Studie verwendeten Materialien.

### **Materialien zur Lagerung und Reinigung der Zähne**

- Thymol krist. reinst, Merck, Darmstadt
- Sonicflex paro Nr. 60, KaVo, Biberach
- Prophyflex2 2012, KaVo, Biberach
- Natriumbikarbonat Reinigungspulver, KaVo, Biberach
- Miniatur-Zahnreinigungsbürstchen, Pluradent, Offenbach
- Zircate Prophy Paste, Dentsply Detrey, Konstanz
- Super Polish, Kerr Hawe SA, Bioggio, Schweiz

### **Materialien zur Fotodokumentation und Bildbetrachtung**

- Digitale Kamera: Canon EOS D 30, Brenner Foto Versand, Weiden
- Glasmaßstab, Leitz, Wetzlar
- 18-Zoll-TFT-Farbmonitor: FlexScan L 768, EIZO, Avnet Technology Solutions, GmbH Nettetal

### **Materialien für die Laserfluoreszenzuntersuchungen**

- DIAGNOdent 2095, KaVo, Biberach
- DIAGNOdent pen 2190, KaVo, Biberach

### **Labormaterialien**

- Alkohol 40%, 60%, 80%, 100%, Merck, Darmstadt
- Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim
- Technovit 7210 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim
- Histolux, Kulzer Exakt, Wehrheim
- IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA
- Acrylglas Halbzeuge, Krüger, Hamburg
- Diamantband-Säge, Exakt, Hamburg
- Carborundum Schleifpapier, Hermes, Hamburg

- Mineralgläschen, Menzel, Braunschweig
- Stereo-Makroskop M 420, Wild Heerbrugg AG, Schweiz

## 12 Lebenslauf

### Persönliche Angaben

Name:	Rolfsen
Vorname:	Stefanie
Geburtsdatum:	11.03.1983
Geburtsort:	Damme
Wohnort:	Bremen
Familienstand:	ledig
Staatsangehörigkeit:	deutsch

### Ausbildung

1989 - 1993	Johannesgrundschule Steinfeld
1993 - 2002	Liebfrauenschule Vechta, allgemeines Gymnasium
04.2003 - 02.2008	Studium der Zahnmedizin an der Philipps- Universität Marburg
02.2008 - 07.2008	Examen

### Berufstätigkeit

Seit 01.10.2008 Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis Schmerling,  
Bremen



### **13 Verzeichnis akademischer Lehrer**

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die folgenden Damen und Herren:

Aumüller, Austermann, Coca, Dibbets, Feuser, Flores-de-Jacoby, Gente, Hasilik, Höffken, Koolmann, Lehmann, Lill, Löffler, Lotzmann, Mengel, Mittag, Neff, Pieper, Ramaswamy, Röhm, Seitz, Stachniss, Steiniger, Stoll, Weihe.

## 14 Danksagung

Die vorliegende Dissertation wäre nicht zustande gekommen, hätte ich nicht so vielfältige Unterstützung und Hilfe gehabt.

An erster Stelle sei Frau PD Dr. A. Jablonski-Momeni herzlichst gedankt für die Überlassung des Themas, die liebevolle Betreuung und Unterstützung sowie die wertvollen Ratschläge bei Problemlösungen.

Weiterhin danke ich ganz herzlich Herrn Prof. Dr. K. Pieper sowie Herrn Prof. Dr. V. Stachniss für die wertvollen Diskussionsanregungen.

Außerdem danke ich Frau Heinzl-Gutenbrunner für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung.

Frau Grimmelbein und Frau Schäfer für die Mithilfe bei der Herstellung der Zahnhartschnitte.

Ein großes Dankeschön auch an Herrn Lonsdorfer für die Korrektur.

Danke Marion für die Übersetzung.

Ich danke meiner Familie für ihre liebevolle Unterstützung sowohl während meines Studiums als auch bei der Dissertationsarbeit.

Zum Schluss danke ich Daniel für seine Geduld, Aufmunterung und kreativen Ansätze.

## 15 Ehrenwörtliche Erklärung

Ich, Stefanie Rolfsen, erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Korrelation des International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) zur okklusalen Kariesdiagnose mit Laserfluoreszenzmessungen - eine In-vitro-Studie“ im Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Funktionsbereich Kinderzahnheilkunde, unter Leitung von PD Dr. A. Jablonski-Momeni ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Vorliegende Arbeit wurde in folgendem Publikationsorgan veröffentlicht:

Rolfsen S, Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Pieper K:

Korrelation eines visuellen Kariesdiagnoseverfahrens mit Laserfluoreszenzmessungen - eine In-vitro-Studie (Abstract)

Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 62, Sonderheft, D 43 (2007)

---

Ort, Datum, Unterschrift